

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2003年 3月 5日

出願番号

Application Number:

特願2003-058487

[ ST.10/C ]:

[ JP2003-058487 ]

出願人

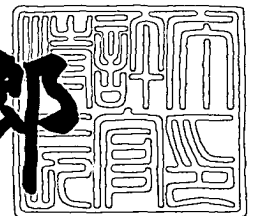
Applicant(s):

株式会社島津製作所

2003年 5月27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3039754

【書類名】 特許願

【整理番号】 K1020733

【提出日】 平成15年 3月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 A61B 6/00

【発明者】

    【住所又は居所】 京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所  
                                内

    【氏名】 佐藤賢治

【発明者】

    【住所又は居所】 京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所  
                                内

    【氏名】 佐藤敏幸

【特許出願人】

    【識別番号】 000001993

    【氏名又は名称】 株式会社島津製作所

【代理人】

    【識別番号】 100093056

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 杉谷 勉

    【電話番号】 06-6363-3573

【先の出願に基づく優先権主張】

    【出願番号】 特願2002-253819

    【出願日】 平成14年 8月30日

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 045768

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9110616

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 放射線検出器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 放射線有感な半導体の一方の側に共通電極を形成してバイアス電圧を印加し、他方の側に複数個の分割電極を形成して、放射線入射によって前記半導体内部に発生する電荷を、各々の分割電極から電気信号として取り出すことによって入射放射線の空間分布を検出する放射線検出器において、少なくとも放射線の検出中に光を照射する光照射機構を備えたことを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の放射線検出器において、前記照射する光の波長が、使用する半導体のバンドギャップエネルギーに対応する波長よりも短いことを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の放射線検出器において、照射する光の波長が、使用する半導体の透過率半減波長よりも短く、かつ、バンドギャップエネルギーに対応する波長よりも長いことを特徴とする放射線検出器。

【請求項 4】 請求項 1 から 3 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記半導体は、ノンドープの S e もしくはノンドープの S e 化合物のアモルファス体、A s または T e をドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドープした S e もしくはアルカリ金属をドープした S e 化合物のアモルファス体、ハロゲンをドープした S e もしくはハロゲンをドープした S e 化合物のアモルファス体、A s、T e、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体のいずれかであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 5】 請求項 1 から 3 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記半導体は、C d T e、C d Z n T e、P b I<sub>2</sub>、H g I<sub>2</sub>、T l B r、G a A s の化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドープした前記化合物半導体の多結晶体であることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 6】 請求項 1 から 5 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記光照射機構は、面状導光手段と、その端部に取り付けられた線状発光手段と

を備えていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の放射線検出器において、前記面状導光手段は、光拡散シートと、光反射シートと、これらに挟持された透明板とを備え、前記光拡散シートを前記分割電極側に備えていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 8】 請求項 6 または 7 に記載の放射線検出器において、前記線状発光手段は、特定波長の光を直接的に放射する直接発光デバイスであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 9】 請求項 6 または 7 に記載の放射線検出器において、前記線状発光手段は、蛍光体と組み合わせられて蛍光体に応じた特定波長の光を間接的に放射する間接発光デバイスであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 10】 請求項 1 から 5 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記光照射機構は、面状発光手段を備えていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、特定波長の光を直接的に放射する直接発光デバイスを面状に配置してなることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 12】 請求項 10 または 11 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、透明基板に直接的に形成されていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 13】 請求項 10 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、蛍光体と組み合わせられて蛍光体に応じた特定波長の光を間接的に放射する間接発光デバイスであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 14】 請求項 13 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、その発光面が基板であり、前記面状発光手段の上面に前記分割電極が形成され、さらにその上に前記半導体が形成されていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 15】 放射線有感な半導体の一方の側に共通電極を形成してバイアス電圧を印加し、他方の側に複数の分割電極を形成して、放射線入射によって前記半導体内部に発生する電荷を、各々の分割電極から電気信号として取り出

すことによって入射放射線の空間分布を検出する放射線検出器において、少なくとも前記半導体と前記分割電極との間にキャリア選択性の中間層を形成するとともに、少なくとも放射線の検出中に前記中間層に光を照射する光照射機構を備えたことを特徴とする放射線検出器。

【請求項 1 6】 請求項 1 5 に記載の放射線検出器において、前記照射する光の波長は、前記中間層の透過率半減波長よりも短いことを特徴とする放射線検出器。

【請求項 1 7】 請求項 1 6 に記載の放射線検出器において、前記照射する光の波長は、前記中間層に対する透過率が 1 0 % となる波長よりも短いことを特徴とする放射線検出器。

【請求項 1 8】 請求項 1 5 から 1 7 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記中間層は、ノンドープの S e もしくはノンドープの S e 化合物のアモルファス体、A s または T e をドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドープした S e もしくはアルカリ金属をドープした S e 化合物のアモルファス体、ハロゲンをドープした S e もしくはハロゲンをドープした S e 化合物のアモルファス体、A s 、 T e 、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体のいずれかであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 1 9】 請求項 1 5 から 1 7 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記中間層は、 $Sb_2S_3$ 、 $CeO_2$ 、 $CdS$ 、 $CdSe$ 、 $CdTe$ 、 $CdZnTe$ 、 $ZnSe$ 、 $ZnTe$ 、 $ZnS$ 、 $PbI_2$ 、 $HgI_2$ 、 $TlBr$ 、 $GaAs$  の化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドープした前記化合物半導体の多結晶体、またはこれらの多結晶体を組み合わせ多層にしたもののいずれかであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2 0】 請求項 1 8 に記載の放射線検出器において、前記半導体は、ノンドープの S e もしくはノンドープの S e 化合物のアモルファス体、A s または T e をドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドープした S e もしくはアルカリ金属をドープした S e 化合物のアモルファス体、ハロゲンをドープした S e もしくはハロゲンをドープした S e 化合物のアモ

ルファス体、As、Te、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体のうち、前記中間層とは異なるアモルファス体であることを特徴とする放射線検出器。

【請求項21】 請求項19に記載の放射線検出器において、前記半導体は、ノンドーピングのSeもしくはノンドーピングのSe化合物のアモルファス体、AsまたはTeをドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドーピングしたSeもしくはアルカリ金属をドーピングしたSe化合物のアモルファス体、ハロゲンをドーピングしたSeもしくはハロゲンをドーピングしたSe化合物のアモルファス体、As、Te、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体のいずれかであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項22】 請求項19に記載の放射線検出器において、前記半導体は、CdTe、CdZnTe、PbI<sub>2</sub>、HgI<sub>2</sub>、TlBr、GaAsの化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドーピングした前記化合物半導体の多結晶体のうち、前記中間層とは異なる多結晶体であることを特徴とする放射線検出器。

【請求項23】 請求項15に記載の放射線検出器において、少なくとも前記分割電極が形成される半導体表面に、前記半導体の透過率半減波長とバンドギャップエネルギーに対応する波長との間に透過限界波長を持つ材料を用いて、中間層を形成することを特徴とする放射線検出器。

【請求項24】 請求項23に記載の放射線検出器において、前記半導体は、ノンドーピングのSeもしくはノンドーピングのSe化合物のアモルファス体、AsまたはTeをドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドーピングしたSeもしくはアルカリ金属をドーピングしたSe化合物のアモルファス体、ハロゲンをドーピングしたSeもしくはハロゲンをドーピングしたSe化合物のアモルファス体、As、Te、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体のいずれかであり、かつ、前記中間層は、Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>、CeO<sub>2</sub>、CdS、CdSe、CdTe、CdZnTe、ZnSe、ZnTe、ZnS、PbI<sub>2</sub>、HgI<sub>2</sub>、TlBr、GaAsの化合物半導

体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドーブした前記化合物半導体の多結晶体、またはこれらの多結晶体を組み合わせて多層にしたもののいずれかであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2 5】 請求項 1 5 から 2 4 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記光照射機構は、面状導光手段と、その端部に取り付けられた線状発光手段とを備えていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2 6】 請求項 2 5 に記載の放射線検出器において、前記面状導光手段は、光拡散シートと、光反射シートと、これらに挟持された透明板とを備え、前記光拡散シートを前記分割電極側に備えていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2 7】 請求項 2 5 または 2 6 に記載の放射線検出器において、前記線状発光手段は、特定波長の光を直接的に放射する直接発光デバイスであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2 8】 請求項 2 5 または 2 6 に記載の放射線検出器において、前記線状発光手段は、蛍光体と組み合わされて蛍光体に応じた特定波長の光を間接的に放射する間接発光デバイスであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 2 9】 請求項 1 5 から 2 4 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記光照射機構は、面状発光手段を備えていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 0】 請求項 2 9 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、特定波長の光を直接的に放射する直接発光デバイスを面状に配置してなることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 1】 請求項 2 9 または 3 0 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、透明基板に直接的に形成されていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 2】 請求項 2 9 に記載の放射線検出器において、前記面状発光手段は、蛍光体と組み合わされて蛍光体に応じた特定波長の光を間接的に放射する間接発光デバイスであることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 3】 請求項 3 2 に記載の放射線検出器において、前記面状発光

手段は、その発光面が基板であり、前記面状発光手段の上面に前記分割電極が形成され、さらにその上に前記中間層及び前記半導体が形成されていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 4】 請求項 1 から 3 3 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記半導体は、透明基板上に薄膜トランジスタスイッチと、電荷蓄積コンデンサと、分割電極とが形成された T F T 基板上に形成されていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 5】 請求項 3 4 に記載の放射線検出器において、前記分割電極は、前記照射光の光の波長にて透明もしくは半透明であることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 6】 請求項 1 5 から 3 3 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記半導体及び前記中間層は、透明基板上に薄膜トランジスタスイッチと、電荷蓄積コンデンサと、分割電極とが形成された T F T 基板上に形成されていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 7】 請求項 3 6 に記載の放射線検出器において、前記分割電極は、前記照射光の光の波長にて透明もしくは半透明であることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 8】 請求項 1 から 3 7 のいずれかに記載の放射線検出器において、前記光照射機構は、オン／オフスイッチによって光照射が制御されることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 3 9】 請求項 3 8 に記載の放射線検出器において、前記光照射機構の光照射は、制御部によって制御されることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 4 0】 請求項 3 9 に記載の放射線検出器は、前記制御部は、放射線の入射にかかわらず、連続的にまたはパルスの光を照射するように前記光照射機構を制御することを特徴とする放射線検出器。

【請求項 4 1】 請求項 3 9 に記載の放射線検出器において、前記制御部は、放射線の入射中にのみ光を照射するように前記光照射機構を制御することを特徴とする放射線検出器。

【請求項 4 2】 請求項 3 9 に記載の放射線検出器において、前記制御部は

、放射線の入射終了直後から次の入射開始までの間に光を照射するように前記光照射機構を制御することを特徴とする放射線検出器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、医療分野、工業分野、原子力分野等の放射線の空間分布を計測するための放射線検出器に関する。

【0002】

【従来の技術】

放射線有感な半導体の一方の側に共通電極を形成してバイアス電圧を印加し、他方の側に複数個の分割電極を形成して、放射線入射によって前記半導体内部に発生する電荷を、各々の分割電極から電気信号として取り出すことによって入射放射線の空間分布を検出する放射線検出器の製造方法には、大きく分けて次の三通りの方法がある。

【0003】

一に、予め分割電極を形成した基板に半導体膜を形成し、その上に共通電極を形成したもの、二に、予め共通電極を形成した基板に半導体膜を形成し、その上に分割電極を形成したもの、三に、半導体結晶基板の一方の面に共通電極を、他方の面に分割電極を形成したものである。

【0004】

一のものは分割電極側に基板があり、後の二つの場合でも、一般的には、信号を処理するための電子回路基板に分割電極側を接続して使用する。よって、以上三つのいずれの場合においても分割電極側に基板があるため、従来の放射線検出器は、放射線を共通電極側から入射させて検出するものが一般的である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このような従来例の場合には、次のような問題がある。

すなわち、上述した従来の放射線検出器では、分割電極間のスペースの領域に電界によって移動した電荷が掃き出される電極がなく、放射線によって発生した

電荷が溜まりやすいという性質がある。その結果、電気力線が歪んで実効的な有感面積が変化し、感度変動するという現象が起こる。また、その場合、放射線入射が停止したあとでも、分割電極間のスペースの領域に溜まった電荷が徐々に掃き出されて、残留出力が発生するという現象も起こるという問題がある。

## 【0006】

さらに、電荷の掃き出しスピードよりも高レートの放射線が入射する場合には、分割電極を形成した領域にも電荷が溜まり、半導体中の電位プロファイルが歪んで分割電極近傍の電位が上昇する。特に、複数の分割電極と薄膜トランジスタ（TFT）が形成された基板の上にアモルファス・セレン（a-Se）および共通電極を形成して、TFTのスイッチング動作によって信号を順次読み出す構造の場合、a-Seには高バイアスを印加して使用する必要があるため、分割電極近傍の電位上昇はTFTのスイッチング動作に影響を及ぼす程度に大きくなる。その結果、読み取り動作が緩慢になる等の現象が起こり、感度変動や残留出力の原因となる。

## 【0007】

以下、上記二つの現象について、それぞれ図18、図19を参照しながら具体的に説明する。なお、図18および図19は、従来例に係る放射線検出器の内部の様子を模式的に説明した断面図である。

## 【0008】

図18(a)は放射線入射前の状態を表す模式図であり、半導体厚膜51内を電気力線が全て平行に走り、分割電極53の幅を $a$ 、奥行き方向の長さを $y$ とすると、有感面積は $a \times y$ となる。この状態から放射線が入射した場合を表す模式図が図18(b)である。分割電極53間のスペースの領域で発生した電荷（電子・正孔）のうち、分割電極53側に移動する電荷（図18(b)の場合は正孔）は、掃き出されるべき電極がないので、半導体厚膜51表面付近で捕獲され滞留する（符号55）。こうして徐々に正孔が溜まっていき、半導体厚膜51内の電気力線が歪んでしまう。この場合の有感面積は、分割電極53間のスペースの幅を $b$ （奥行き方向のスペース幅を $z$ ）とすると、 $(a + b) \times (y + z)$ となる。よって、分割電極53間のスペースの領域に電荷が溜まってしまいうまでの間、感

度が  $a \times y$  から  $(a + b) \times (y + z)$  まで変動 (増加) していくことになる。

【 0 0 0 9 】

また、複数の分割電極 6 1 と薄膜トランジスタ (T F T) スイッチが形成された基板 6 3 上にアモルファス・セレン (a - S e) 6 5 および共通電極 6 7 を形成して、T F T スイッチのスイッチング動作によって信号を順次読み出す構造の場合が図 1 9 である。なお、アモルファス・セレンの厚みを  $d$  で表している。放射線入射前の模式図に示すように図 1 9 (a) では、分割電極 6 1 近傍の電位は十分小さい。しかし、電荷の掃き出しスピードよりも高レートの放射線が入射すると、分割電極 6 1 近傍に電荷が溜まり、図 1 9 (b) に示すように、電位プロファイルが歪んで分割電極 6 1 近傍の電位が上昇する。アモルファス・セレンの場合は高バイアスを印加して使用する必要があるため、電位上昇は T F T スイッチを誤動作させるに十分な値となり、読み取り動作が緩慢になる等の現象が起こって、感度変動や残留出力を引き起こす。

【 0 0 1 0 】

上述したような感度変動が生じると、定量的な放射線検出ができないだけでなく、動画像検出器として使用する場合、徐々に輝度が変化していく現象や、入射する放射線量によって感度変動のカーブが異なるために、前フレームの画像が残像として残るといった現象が起こる。

【 0 0 1 1 】

この発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、光照射によって分割電極を備えた放射線検出器に発生する電界を安定化させることにより、感度変動のない放射線検出器を提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

この発明は、このような目的を達成するために、次のような構成をとる。

【 0 0 1 3 】

すなわち、請求項 1 に記載の発明は、放射線有感な半導体の一方の側に共通電極を形成してバイアス電圧を印加し、他方の側に複数の分割電極を形成して、放射線入射によって前記半導体内部に発生する電荷を、各々の分割電極から電気

信号として取り出すことによって入射放射線の空間分布を検出する放射線検出器において、少なくとも放射線の検出中に光を照射する光照射機構を備えたことを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 4 】

（作用・効果）この発明の放射線検出器の場合、分割電極側に光を照射する光照射機構を有し、放射線の検出動作中は光を照射することにより、放射線入射前の状態でも図2に示すように、光によって発生した電荷のうち一方（共通電極9に正バイアスを印加する場合は正孔）が分割電極3間のスペースの領域にすでに溜まっている。したがって、電気力線が歪み、有感面積は最初から  $(a + b) \times (y + z)$  となる。この状態で放射線が入射しても、図3に示すように分割電極3間のスペースの領域で発生した電荷のうち、分割電極3側に移動する電荷は、電気力線に沿って分割電極3に到達し、分割電極3間のスペースにさらに電荷が溜まることがないので、電気力線の状態も有感面積も変化せず、感度変動は起こらない。また、放射線入射が停止した後にまで光の照射を継続すると、分割電極3間のスペースの領域に溜まった電荷が徐々に掃き出されていくことはなく、残留出力は発生しない。

## 【 0 0 1 5 】

なお、ここでいう光を照射するとは、放射線の検出中は光を照射し続けたり、断続的に光を照射したりする等、光照射による本発明の作用を奏する照射形態を含むものである。

## 【 0 0 1 6 】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の放射線検出器において、前記照射する光の波長が、使用する半導体のバンドギャップエネルギーに対応する波長よりも短いことを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 7 】

（作用・効果）照射する光の波長が、使用する半導体のバンドギャップエネルギーに対応する波長よりも短いため、照射光が半導体内部にまで侵入することはなく、分割電極を形成した側の極近傍だけに作用するため、光によって発生する電荷が溜まる領域が分割電極を形成した側の極近傍だけに限定されるため、不感

領域を低減することができる。

【 0 0 1 8 】

また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または 2 に記載の放射線検出器において、照射する光の波長が、使用する半導体の透過率半減波長よりも短く、かつ、バンドギャップエネルギーに対応する波長よりも長いことを特徴とするものである。

【 0 0 1 9 】

（作用・効果）照射する光の波長が、使用する半導体の透過率半減波長よりも短く、かつ、バンドギャップエネルギーに対応する波長よりも長い場合、照射光が一部半導体内部深くにまで侵入して不感領域が広がるが、逆に、バンドギャップエネルギーよりも照射光のエネルギーが小さいため、照射光による半導体の損傷（結晶欠陥の発生）や、照射光自体による電荷検出に起因する暗電流の増加はなくなる。照射光による半導体の損傷作用は、アモルファス・セレン（a-Se）のようなアモルファス半導体において大きい場合、アモルファス半導体を用いた放射線検出器では、本請求項は特に有効である。

【 0 0 2 0 】

また、前記半導体は、ノンドープの Se もしくはノンドープの Se 化合物のアモルファス体、As または Te をドープした Se もしくは Se 化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドープした Se もしくはアルカリ金属をドープした Se 化合物のアモルファス体、ハロゲンをドープした Se もしくはハロゲンをドープした Se 化合物のアモルファス体、As、Te、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドープした Se もしくは Se 化合物のアモルファス体のいずれかであることが好ましい（請求項 4）。

【 0 0 2 1 】

また、前記半導体は、CdTe、CdZnTe、PbI<sub>2</sub>、HgI<sub>2</sub>、TlBr、GaAs の化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドープした前記化合物半導体の多結晶体であることが好ましい（請求項 5）。

【 0 0 2 2 】

また、前記光照射機構は、面状導光手段と、その端部に取り付けられた線状発

光手段とを備えていることが好ましく（請求項 6， 2 5）、前記面状導光手段は、光拡散シートと、光反射シートと、これらに挟持された透明板とを備え、前記光拡散シートを前記分割電極側に備えていることが好ましい（請求項 7， 2 6）。

【 0 0 2 3 】

また、前記線状発光手段は、特定波長の光を直接的に放射する直接発光デバイスや（請求項 8， 2 7）、蛍光体と組み合わせられて蛍光体に応じた特定波長の光を間接的に放射する間接発光デバイスであることが好ましい（請求項 9， 2 8）。

【 0 0 2 4 】

また、前記光照射機構は、面状発光手段を備えていることが好ましく（請求項 1 0）、面状発光手段としては、特定波長の光を直接的に放射する直接発光デバイスを面状に配置してなることが好ましい（請求項 1 1）。また、面状発光手段は、透明基板に直接的に形成されていることが好ましい（請求項 1 2）。さらに、面状発光手段は、蛍光体と組み合わせられて蛍光体に応じた特定波長の光を間接的に放射する間接発光デバイスであることが好ましく（請求項 1 3）、また、その発光面が基板であり、前記面状発光手段の上面に前記分割電極が形成され、さらにその上に前記半導体が形成されていることが好ましい（請求項 1 4）。

【 0 0 2 5 】

また、請求項 1 5 に記載の発明は、放射線有感な半導体の一方の側に共通電極を形成してバイアス電圧を印加し、他方の側に複数個の分割電極を形成して、放射線入射によって前記半導体内部に発生する電荷を、各々の分割電極から電気信号として取り出すことによって入射放射線の空間分布を検出する放射線検出器において、少なくとも前記半導体と前記分割電極との間にキャリア選択性の中間層を形成するとともに、少なくとも放射線の検出中に前記中間層に光を照射する光照射機構を備えたことを特徴とするものである。

【 0 0 2 6 】

このように中間層を備えた構成であっても、上述した請求項 1 の発明と同様の作用・効果を奏する。

## 【 0 0 2 7 】

また、前記照射する光の波長は、前記中間層の透過率半減波長よりも短いことが好ましく（請求項 1 6）、より好ましくは、前記中間層に対する透過率が 1 0 % となる波長よりも短い（請求項 1 7）。

## 【 0 0 2 8 】

（作用・効果）半導体層よりも中間層の方が欠陥が多くて電荷が溜まりやすい場合には、中間層内部にのみ電界の曲がりが生ずる。したがって、分割電極側に中間層がある場合も、分割電極側から中間層へ光を照射することによって、分割電極間のスペース領域に溜まる電荷の影響で感度変動や残留出力が発生することとはなくなる。また、照射する光の波長を中間層の透過率半減波長よりも短くすることで、中間層によって大部分の照射光が吸収されるので、半導体にまで到達する照射光を少なくできる。したがって、中間層による暗電流の抑制に加えて、照射光に起因する半導体における暗電流をより抑制することができる。

## 【 0 0 2 9 】

また、前記中間層は、ノンドーパの S e もしくはノンドーパの S e 化合物のアモルファス体、A s または T e をドーパした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドーパした S e もしくはアルカリ金属をドーパした S e 化合物のアモルファス体、ハロゲンをドーパした S e もしくはハロゲンをドーパした S e 化合物のアモルファス体、A s、T e、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドーパした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体のいずれかであることが好ましい（請求項 1 8）。

## 【 0 0 3 0 】

また、前記中間層は、 $Sb_2S_3$ 、 $CeO_2$ 、 $CdS$ 、 $CdSe$ 、 $CdTe$ 、 $CdZnTe$ 、 $ZnSe$ 、 $ZnTe$ 、 $ZnS$ 、 $PbI_2$ 、 $HgI_2$ 、 $TlBr$ 、 $GaAs$  の化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドーパした前記化合物半導体の多結晶体、またはこれらの多結晶体を組み合わせる多層にしたもののいずれかであることが好ましい（請求項 1 9）。

## 【 0 0 3 1 】

また、前記半導体は、ノンドーパの S e もしくはノンドーパの S e 化合物のア

モルファス体、AsまたはTeをドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドーピングしたSeもしくはアルカリ金属をドーピングしたSe化合物のアモルファス体、ハロゲンをドーピングしたSeもしくはハロゲンをドーピングしたSe化合物のアモルファス体、As、Te、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体のうち、前記中間層とは異なるアモルファス体であることが好ましい（請求項20）。

## 【0032】

また、前記半導体は、ノンドーピングのSeもしくはノンドーピングのSe化合物のアモルファス体、AsまたはTeをドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドーピングしたSeもしくはアルカリ金属をドーピングしたSe化合物のアモルファス体、ハロゲンをドーピングしたSeもしくはハロゲンをドーピングしたSe化合物のアモルファス体、As、Te、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体のいずれかであることが好ましく（請求項21）、CdTe、CdZnTe、PbI<sub>2</sub>、HgI<sub>2</sub>、TlBr、GaAsの化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドーピングした前記化合物半導体の多結晶体のうち、前記中間層とは異なる多結晶体であることが好ましい（請求項22）。

## 【0033】

（作用・効果）中間層を設けるのは、キャリア選択性を利用して暗電流を低減するためである。なお、ここでいうキャリア選択性とは、半導体中の電荷移動媒体（キャリア）である電子と正孔とで、電荷移動作用への寄与率が著しくことなる性質のことをいう。

## 【0034】

キャリア選択性の大きい材料としては、例えば、電子の寄与が大きいものとしてn型半導体であるCeO<sub>2</sub>、CdS、CdSeのような多結晶体や、アルカリ金属や、As、Teをドーピングして正孔の寄与を低下させたアモルファスSe等のアモルファス体がある。

## 【0035】

また、正孔の寄与が大きいものとしては、p型半導体であるZnSe、ZnT

e、ZnSのような多結晶体や、ハロゲンをドーブして電子の寄与率を低下させたアモルファスSe等のアモルファス体がある。

## 【0036】

さらに、 $Sb_2S_3$ 、CdTe、CdZnTe、 $PbI_2$ 、 $HgI_2$ 、TlBrや、ノンドープのアモルファスSeまたはSe化合物のように、成膜条件によって電子の寄与が大きくなったり、正孔の寄与が大きくなったりするものもある。

## 【0037】

中間層と半導体層がともにアモルファス体である場合には、例えば、次のような組み合わせが考えられる。

## 【0038】

すなわち、共通電極に正バイアスを印加する場合には、分割電極側の中間層に正孔の寄与率が高いアモルファス体を使用する。これにより、分割電極からの電子の注入が阻止され、暗電流を低減することができる。この場合、共通電極側にも電子の寄与が高い中間層を設けることで、共通電極からの正孔の注入も阻止でき、さらに暗電流を低減することができる。

## 【0039】

また、共通電極に負バイアスを印加する場合は、分割電極側の中間層に電子の寄与が高いアモルファス体を使用する。これにより、分割電極からの正孔の注入が阻止され、暗電流を低減することができる。この場合、共通電極側にも正孔の寄与が高い中間層を設けることで、共通電極からの電子の注入も阻止することができ、さらに暗電流を低減することができる。

## 【0040】

また、半導体層がアモルファス体で、かつ中間層が多結晶体ある場合には、例えば、次のような組み合わせが考えられる。

## 【0041】

共通電極に正バイアスを印加する場合は、分割電極側の中間層に正孔の寄与が高い多結晶体を使用する。また、共通電極に負バイアスを印加する場合は、分割電極側の中間層に電子の寄与が高い多結晶体を使用する。これらの場合、共通電極側に中間層を設けることで、さらに暗電流を低減することができる。

## 【 0 0 4 2 】

また、中間層と半導体層がともに多結晶体である場合には、例えば、次のような組み合わせが考えられる。

## 【 0 0 4 3 】

共通電極に正バイアスを印加する場合は、分割電極側の中間層に正孔の寄与が大きい多結晶体を使用する。また、共通電極側に負バイアスを印加する場合は、分割電極側の中間層に電子の寄与が大きい多結晶体を使用する。これらの場合も、共通電極側に中間層を設けることで、さらに暗電流を低減することができる。

## 【 0 0 4 4 】

また、前記分割電極を形成する半導体表面に、前記半導体の透過率半減波長とバンドギャップエネルギーに対応する波長との間に透過限界波長を持つ材料を用いて、中間層を形成することが好ましい（請求項 2 3）。

## 【 0 0 4 5 】

（作用・効果）分割電極を形成する半導体表面に、前記半導体の透過率半減波長とバンドギャップエネルギーに対応する波長との間に透過限界波長を持つ材料を用いて、中間層を形成するため、フィルター効果によって、照射光の波長を限定せずとも、請求項 3 の効果を得ることができる。

## 【 0 0 4 6 】

また、前記半導体は、ノンドープの S e もしくはノンドープの S e 化合物のアモルファス体、A s または T e をドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体、アルカリ金属をドープした S e もしくはアルカリ金属をドープした S e 化合物のアモルファス体、ハロゲンをドープした S e もしくはハロゲンをドープした S e 化合物のアモルファス体、A s、T e、アルカリ金属、ハロゲンを組み合わせて複数ドープした S e もしくは S e 化合物のアモルファス体のいずれかであり、かつ、前記中間層は、 $Sb_2S_3$ 、 $CeO_2$ 、 $CdS$ 、 $CdSe$ 、 $CdTc$ 、 $CdZnTe$ 、 $ZnSe$ 、 $ZnTe$ 、 $ZnS$ 、 $PbI_2$ 、 $HgI_2$ 、 $TlBr$ 、 $GaAs$  の化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはハロゲンをドープした前記化合物半導体の多結晶体、またはこれらの多結晶体を組み合わせる多層にしたもののいずれかであることが好ましい（請求項 2 4）。

【 0 0 4 7 】

また、前記半導体は、透明基板上に薄膜トランジスタスイッチと、電荷蓄積コンデンサと、分割電極とが形成された T F T 基板上に形成されていることが好ましく（請求項 3 4）、前記半導体及び前記中間層は、透明基板上に薄膜トランジスタスイッチと、電荷蓄積コンデンサと、分割電極とが形成された T F T 基板上に形成されていることが好ましい（請求項 3 6）。

【 0 0 4 8 】

また、前記分割電極は、前記照射光の光の波長にて透明もしくは半透明であることが好ましい（請求項 3 5， 3 7）。

【 0 0 4 9 】

（作用・効果）分割電極は透明もしくは半透明であるので、照射光は分割電極間のスペース領域だけでなく、分割電極形成領域にも照射されるため、電荷の掃き出しスピードよりも高レートの放射線が入射して分割電極近傍に電荷が一旦溜まっても、照射光のエネルギーによってすぐにまた励起されて運動エネルギーを与えられるので、電位プロファイルが歪むことはなく、分割電極の近傍の電位は上昇しない。よって、高バイアスを印加して使用する必要がある a - S e の場合でも、T F T スwitchは正常な動作を維持できる。

【 0 0 5 0 】

また、前記光照射機構は、オン／オフスイッチによって光照射が制御されることが好ましく（請求項 3 8）、前記光照射機構の光照射は、制御部によって制御されることが好ましい（請求項 3 9）。

【 0 0 5 1 】

また、前記制御部は、放射線の入射にかかわらず、連続的にまたはパルス的に光を照射するように前記光照射機構を制御したり（請求項 4 0）、放射線の入射中にのみ光を照射するように前記光照射機構を制御したり（請求項 4 1）、放射線の入射終了直後から次の入射開始までの間に光を照射するように前記光照射機構を制御したりすることが好ましい（請求項 4 2）。

【 0 0 5 2 】

【発明の実施の形態】

本発明の実施形態を、以下図面を参照しながら説明する。

図 1 から図 5 を参照して放射線検出器の一例について説明する。なお、図 1 は放射線検出器の概略断面図であり、図 2 は放射線検出器の第 1 の作用を説明する図であって、放射線入射前の状態を示す模式図であり、図 3 は放射線入射中の状態を示す模式図であり、図 4 はバンドギャップに対応する波長よりも短い波長の光を照射した状態を示す模式図であり、図 5 は放射線検出器の第 2 の作用を説明する図である。

#### 【 0 0 5 3 】

本実施形態の放射線検出器は、図 1 に示すように、ガラス基板等の透明な絶縁性基板上に薄膜トランジスタ (T F T) スイッチ、電荷蓄積コンデンサ、および分割電極 3 が形成された T F T 基板 5 上に、アモルファス・セレン (a - S e) 半導体厚膜 7 が形成され、a - S e 半導体厚膜 7 の上面には、電圧印加用の共通電極 9 が形成されている。T F T 基板 5 の分割電極 3 側である裏面には、ピーク発光波長が 5 7 0 n m 位の緑色発光ダイオードを内部に面実装した面発光プレート 1 1 が透明な接着剤によって取付けられている。この面発光プレート 1 1 は、放射線検出動作の間中、T F T 基板 5 を通して a - S e 半導体厚膜 7 の分割電極 3 側に均一に光を照射することができる。なお、上記 T F T 基板 5 や上記接着剤は、面発光プレート 1 1 から発光される光の波長において透明であればよい。

#### 【 0 0 5 4 】

面発光プレート 1 1 による光照射は、信号処理回路 1 3 およびゲートドライバ 1 5 によって電荷が電気信号として読み出される間中は少なくとも継続されるようになっている。

#### 【 0 0 5 5 】

なお、上述した面発光プレート 1 1 がこの発明における光照射機構に相当する。

#### 【 0 0 5 6 】

このように構成された放射線検出器では、面発光プレート 1 1 から光を照射することにより、放射線入射前の状態でも図 2 に示すように、光によって発生した電荷のうち一方 (共通電極 9 に正バイアスを印加する場合は正孔) が分割電極 3

間のスペースの領域にすでに溜まっている（符号 A で示す）。したがって、半導体厚膜 7 中に点線矢印で示すように電気力線が歪み、有感面積は最初から  $(a + b) \times (y + z)$  となる。

## 【 0 0 5 7 】

この状態で放射線が入射しても、図 3 に示すように分割電極 3 間のスペースの領域で発生した電荷（電子・正孔）のうち、分割電極 3 側に移動する電荷（図 1 の構成の場合は正孔）は、電気力線に沿って分割電極 3 に到達し、分割電極 3 間のスペースにさらに電荷が溜まることがないので、電気力線の状態も有感面積も変化せず、感度変動は起こらない。また、放射線入射が停止したあとでも面発光プレート 1 1 からの光の照射を継続すると、分割電極 3 間のスペースの領域に溜まった電荷が徐々に掃き出されていくことはなく、残留出力は発生しない。

## 【 0 0 5 8 】

また、面発光プレート 1 1 内の発光ダイオード素子の発光波長を選択すれば、請求項 2 または請求項 3 に記載の発明を実施できる。

## 【 0 0 5 9 】

例えば、半導体に 1 mm 厚のアモルファス・セレン（a - S e）を使用する場合、透過率半減波長は 7 4 0 nm、バンドギャップエネルギー 2. 2 e V に対応する波長は 5 6 0 nm であるので、ピーク発光波長が 4 5 0 nm 位の青色発光ダイオードを使用すれば、バンドギャップエネルギー 2. 2 e V に対応する波長よりも短い波長の光を照射できる。

## 【 0 0 6 0 】

このように照射する光の波長を、使用する半導体のバンドギャップエネルギーに対応する波長よりも短いものにする、図 4 に示すように、照射光が半導体内部奥にまで侵入することはない、浅い位置（図中の符号 d p）までしか侵入しない。したがって、分割電極 3 を形成した側の極近傍だけに作用するため、光によって発生する電荷が溜まる領域が分割電極 3 を形成した側の極近傍だけに限定され、不感領域を低減することができる。

## 【 0 0 6 1 】

なお、上記の面発光プレート 1 1 に代えて、後述するように冷陰極管（2 5）

と蛍光体とを採用してもよい。

【 0 0 6 2 】

また、ピーク発光波長が590nm位の黄色発光ダイオードやピーク発光波長が630nm位の赤色発光ダイオードを使用すれば、透過率半減波長よりも短く、かつ、バンドギャップエネルギーに対応する波長よりも長い波長の光を照射することができる。

【 0 0 6 3 】

このように照射する光の波長を、使用する半導体の透過率半減波長よりも短く、かつ、バンドギャップエネルギーに対応する波長よりも長くすると、照射光が一部半導体内部深くにまで侵入して不感領域が広がるが、逆に、バンドギャップエネルギーよりも照射光のエネルギーが小さいため、照射光による半導体の損傷（結晶欠陥の発生）や、照射光自体による電荷検出に起因する暗電流の増加はなくなる。照射光による半導体の損傷作用は、アモルファス・セレン（a-Se）のようなアモルファス半導体において大きいため、アモルファス半導体を用いた放射線検出器では請求項3は特に有効である。

【 0 0 6 4 】

なお、分割電極3をITO等の透明もしくは半透明電極にした場合、照射光は分割電極3間のスペース領域だけでなく、分割電極3自体を通してその形成領域（上部）にも照射されるため、電荷の掃き出しスピードよりも高レートの放射線が入射して分割電極近傍に電荷が一旦溜まっても、図5に示すように照射光のエネルギーによってすぐにまた励起されて運動エネルギーを与えられるので、電位プロファイルが歪むことはなく、分割電極3近傍の電位は上昇しない。よって、高バイアスを印加して使用する必要があるa-Seの場合でも、TFETスイッチ8は正常な動作を維持できる。なお、分割電極3が透明とは、少なくとも照射される光の波長において透明であればよい。

【 0 0 6 5 】

ここで、上述した半導体厚膜7の好適な材料を例示する。

アモルファス体としては、ノンドープのSeもしくはノンドープのSe化合物のアモルファス体、AsまたはTeなどをドープしたSeもしくはSe化合物の

アモルファス体、NaやK、Liなどのアルカリ金属をドーピングしたSeもしくはアルカリ金属をドーピングしたSe化合物のアモルファス体、FやClなどのハロゲンをドーピングしたSeもしくはFやClなどのハロゲンをドーピングしたSe化合物のアモルファス体、As、Te、NaやK、Liなどのアルカリ金属、FやClなどのハロゲンを組み合わせて複数ドーピングしたSeもしくはSe化合物のアモルファス体などが挙げられる。

## 【0066】

上記例のうち、不純物をドーピングした場合にはキャリア移動度などの輸送特性が大きくなる利点がある。また、高温におけるアモルファス体の結晶化を防止でき、耐環境性を高める効果がある。

## 【0067】

多結晶体としては、CdTe、CdZnTe、PbI<sub>2</sub>、HgI<sub>2</sub>、TlBr、GaAsなどの化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはFやClなどのハロゲンをドーピングした前記化合物半導体の多結晶体が挙げられる。

## 【0068】

なお、図1に示すように、撮影者等によって動作されるオン／オフスイッチ16Aと、この指示に基づいて面発光プレート11に発光に要する電力を供給する電源16Bとを備え、放射線の検出中に光を手動で継続的に照射させたり、断続的に照射させたりするように構成してもよい。

## 【0069】

また、制御部16Cを備え、上述したように、電源16B内のオン／オフスイッチ（図示省略）を制御して光照射を自動的に制御するように構成してもよい。制御としては、電源16Bを制御するのに代えて、照射光を機械的に遮断するシャッター膜などの開閉を行うようにしてもよい。

## 【0070】

制御部16Cによる光照射の制御例について、図6～図8を参照して説明する。ここでは、以下に説明するように、それぞれ異なる三つの制御形態を示す。なお、図6～図8は、検出動作中における光照射の各制御例を示すタイミングチャートである。

## 【 0 0 7 1 】

図 6 を参照する。

この例では、制御部 1 6 C が信号処理回路 1 3 を介して検出動作を行いつつ、その間の 2 区間 T 1, T 2 においてそれぞれ放射線を照射する。そして、検出動作中を含む区間 T 3 において連続的にまたはパルスの光を照射するように、電源 1 6 B 内のオン／オフスイッチを制御する。特にパルスの制御する場合、電荷の変動の応答性よりも短い間隔のパルスで光を照射すれば、電荷の効果を損なうことなく、光による暗電流成分の増加を抑制することができる。

## 【 0 0 7 2 】

図 7 を参照する。

制御部 1 6 C は、信号処理回路 1 3 による検出動作中に、2 区間 T 1, T 2 においてそれぞれ放射線を照射する。そして、検出動作中を含み、放射線の照射区間 T 1, T 2 に対応する区間 T 4, T 5 においてのみ電源 1 6 B 内のオン／オフスイッチをオンに制御する。このように光照射を制御すると、残留出力を低減させることはできないが、感度変動を低減させることができる。また、放射線が入射していないときの光による暗電流成分の増加を抑制することができる。

## 【 0 0 7 3 】

図 8 を参照する。

この場合、制御部 1 6 C は、信号処理回路 1 3 を介した検出動作中に、2 区間 T 1, T 2 において各々放射線を照射する。そして、検出動作中を含み、放射線の照射区間 T 1, T 2 の直後に対応する区間 T 6, T 7 においてのみ電源 1 6 B 内のオン／オフスイッチをオンにする。換言すると、放射線の入射直後から次の入射開始までの間に光を照射するように制御する。このように制御することにより、感度変動は低減しないが、残留出力を低減する効果を奏する。また、放射線の入射時の光による暗電流成分の増加を抑制することができる。

## 【 0 0 7 4 】

次に、本実施形態の放射線検出器の変形実施例について、図 9 を参照しながら説明する。なお、図 9 は変形実施例である X 線検出器の概略構成を示す縦断面図である。

## 【 0 0 7 5 】

図9に示すように、ガラス基板等の透明な絶縁性の基板上に薄膜トランジスタ（TFT）スイッチ17、電荷蓄積コンデンサ19、および分割電極3が形成されたTFT基板5上に、厚さ $1\mu\text{m}$ の三硫化二アンチモン（ $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ）薄膜からなる中間層21が形成され、その上にアモルファス・セレン（a-Se）半導体厚膜7と、a-Se半導体厚膜7の上面に、電圧印加用の共通電極9が形成されている。

## 【 0 0 7 6 】

なお、ここでいう中間層21は、キャリア選択性を有する層であり、暗電流を抑制する等の効果を有する。キャリア選択性とは、半導体中の電荷移動媒体（キャリア）である電子と正孔とで、電荷移動作用への寄与率が著しくことなる性質のことをいう。

## 【 0 0 7 7 】

例えば、電子の寄与が大きいものとしては、n型半導体である $\text{CeO}_2$ 、 $\text{CdS}$ 、 $\text{CdSe}$ のような多結晶体や、アルカリ金属や、As、Teをドーピングして正孔の寄与を低下させたアモルファスSe等のアモルファス体がある。また、正孔の寄与が大きいものとしては、p型半導体である $\text{ZnSe}$ 、 $\text{ZnTe}$ 、 $\text{ZnS}$ のような多結晶体や、ハロゲンをドーピングして電子の寄与率を低下させたアモルファスSe等のアモルファス体がある。

## 【 0 0 7 8 】

さらに、 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 、 $\text{CdTe}$ 、 $\text{CdZnTe}$ 、 $\text{PbI}_2$ 、 $\text{HgI}_2$ 、 $\text{TlBr}$ や、ノンドープのアモルファスSeまたはSe化合物のように、成膜条件によって電子の寄与が大きくなったり、正孔の寄与が大きくなったりするものもある。

## 【 0 0 7 9 】

TFT基板5の共通電極9側にあたる裏面には、アクリル板の表面を微細加工した導光板23が透明な接着剤などによって取付けられており、導光板23の端面には白色光源である冷陰極管25が取付けられている。この発明の光照射機構及び面状発光手段に相当する導光板23および冷陰極管25は、放射線検出動作の間中、TFT基板5を通してa-Se半導体厚膜7の、中間層21が形成され

ている分割電極 3 側に均一に光を照射することができる。また、冷陰極管 2 5 は、この発明における線状発光手段に相当する。

## 【 0 0 8 0 】

この場合、図 1 0 の模式図に示すように、半導体厚膜 7 よりも中間層 2 1 の方が欠陥が多くて電荷 A が溜まりやすい場合には、中間層 2 1 の内部にのみ電界の曲がりが生ずる。したがって、分割電極 3 側に中間層 2 1 がある場合も、分割電極 3 側から中間層 2 1 へ光を照射することによって、中間層 2 1 の分割電極 3 間のスペースの領域に溜まる電荷の影響で感度変動や残留出力が発生することはなくなる。

## 【 0 0 8 1 】

なお、上記の冷陰極管 2 5 と、後述するように好適な特定波長の光を発する蛍光体とを組み合わせる間接的に発光する間接発光デバイスを構成してもよい。この場合、冷陰極管 2 5（電界放出管）に代えて、白熱管やガス放電管を採用してもよい。ガス放電管としては、例えば、プラズマディスプレイパネル（PDP）やフィールドエミッションディスプレイパネル（FEDP）が挙げられる。

## 【 0 0 8 2 】

上記の導光板 2 3 は、次のような構成であってもよい。なお、図 1 1 は、導光板の構成例を示す一部拡大縦断面図である。

## 【 0 0 8 3 】

導光板 2 3 は、例えば、表面を微細加工した透明板 2 3 a と、光拡散シート 2 3 b と、光反射シート 2 3 c とを備え、分割電極 3 側に位置する透明板 2 3 a の一方面に光拡散シート 2 3 b を被着し、他方面に光反射シート 2 3 c を被着して構成されている。透明板 2 3 a としては、例えば、ガラス板やアクリル板を採用可能である。

## 【 0 0 8 4 】

このように構成することにより、光源からの光が光反射シート 2 3 c によって透明板 2 3 a 側に反射されるので、光の利用効率を高めることができる。また、光拡散シート 2 3 b によって光が拡散されるので、均一に光を照射させることができる。

## 【0085】

また、波長としては、中間層21の透過率半減波長よりも短くすることにより、照射光の大部分を中間層21にのみ照射させることができる。次に説明する実験結果に基づき、より好ましくは中間層21に対する透過率が10%となる波長よりも短くすることによって、さらに中間層21に対して集中的に光照射することができる。換言すると、半導体厚膜7には光が到達しないようにできる。その結果、光照射に起因する半導体厚膜7での暗電流増加の悪影響をなくすることができる。

## 【0086】

中間層21に対する透過率が10%となる波長とは、例えば、中間層21にアモルファス・セレン(a-Se)を使用する場合、図12から波長710nm程度である。また、中間層21に三硫化二アンチモン( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )薄膜を用いた場合には、660nm程度である。

## 【0087】

ここで図13、14を参照して、上記波長が好適であることの根拠について説明する。なお、図13は、種々の波長の光を照射した場合における応答特性の立ち上がり部分を拡大したグラフであり、図14は応答特性の立ち下がり部分を拡大したグラフである。

## 【0088】

この応答特性は、後述する実施例と同一の条件(厚さ1 $\mu\text{m}$ の中間層 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 薄膜21を形成)で、緑以外の波長の面発光ダイオードと、赤外光源を用いて応答特性を測定したものである。実験に用いた発光ダイオード及び赤外光源の仕様は、次のとおりである。

## 【0089】

青 …… 中心波長450nm (400~530nm)

緑 …… 中心波長570nm (460~650nm)

赤 …… 中心波長630nm (590~720nm)

赤外光源 …… ハロゲンランプ+短波長カットフィルタSC70

発光波長700nm以上

## 【 0 0 9 0 】

両グラフから明らかなように、赤色光（図中の符号 R）では、感度変動、残留電荷の低減効果が弱いことが分かる。さらに、赤外光（図中の符号 I R）では、残留電荷の低減効果がほとんどないだけでなく、立ち上がり時に感度が低下していくという副作用も現れている。これにより、中間層 2 1 を透過する長波長の光は、改善効果が得られないだけでなく、逆に悪影響を及ぼすことがわかる。したがって、少なくとも中間層 2 1 が三硫化アンチモン（ $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ）の場合には、その透過率半減波長である 7 4 0 n m よりも短い波長の光を照射するのが好ましい。

## 【 0 0 9 1 】

また、赤色光よりも波長の短い青色光（図中の符号 B）、緑色光（図中の符号 G）の方が、感度変動、残留電荷の低減効果が顕著であることもわかる。これにより、中間層 2 1 を透過しない短波長の光の方がより好ましいことがわかる。したがって、これらの結果より、少なくとも中間層 2 1 が三硫化アンチモン（ $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ）の場合には、透過率が 1 0 % となる波長（6 6 0 n m）より短波長の光がより好ましいことが分かる。

## 【 0 0 9 2 】

本実施形態の放射線検出器と、その変形実施例は、共通電極 9 にバイアス電圧を印加し、照射光を照射した状態で動作させ、放射線入射によって半導体厚膜 7 内部に発生する電荷（電子・正孔）が、それぞれ両電極方向に移動することによって誘起される電荷を、分割電極 3 を介して接続された T F T 基板 5 上の電荷蓄積コンデンサ 1 9 に一旦蓄積し、外部から制御された読み出しタイミングに応じて、ゲートドライバ 1 5 からオン信号が送り込まれて薄膜トランジスタ（T F T）スイッチ 1 7 がオン（接続）となり、蓄積電荷が放射線検出信号として外部接続された信号処理回路 1 3 に逐次送り出されて、2 次元の放射線像を得る構成になっている。

## 【 0 0 9 3 】

ここで、上記中間層 2 1 の好適な材料を例示する。なお、半導体厚膜 7 の好適な材料は、上述した通りである。

アモルファス体としては、ノンドープのS eもしくはノンドープのS e化合物のアモルファス体、A sまたはT eなどをドープしたS eもしくはS e化合物のアモルファス体、N aやK, L iなどのアルカリ金属をドープしたS eもしくはアルカリ金属をドープしたS e化合物のアモルファス体、FやC lなどのハロゲンをドープしたS eもしくはFやC lなどのハロゲンをドープしたS e化合物のアモルファス体、A s、T e、N aやK, L iなどのアルカリ金属、FやC lなどのハロゲンを組み合わせて複数ドープしたS eもしくはS e化合物のアモルファス体などが挙げられる。

## 【 0 0 9 4 】

但し、中間層 2 1 を機能させるために、半導体厚膜 7 の材料は中間層 2 1 の材料とは異なるものにする。または、中間層 2 1 の材料を半導体厚膜 7 のものとは異なるものにする。

## 【 0 0 9 5 】

具体的には、中間層 2 1 と半導体厚膜 7 がともにアモルファス体である場合には、例えば、次のような組み合わせが考えられる。

## 【 0 0 9 6 】

共通電極 9 に正バイアスを印加する場合には、分割電極 3 側の中間層 2 1 に正孔の寄与率が高いアモルファス体を使用する。これにより、分割電極 3 からの電子の注入が阻止され、暗電流を低減することができる。この場合、共通電極 9 側にも電子の寄与率が高い中間層 2 1 を設けることで、共通電極 9 からの正孔の注入も阻止でき、さらに暗電流を低減することができる。

## 【 0 0 9 7 】

また、共通電極 9 に負バイアスを印加する場合は、分割電極 3 側の中間層 2 1 に電子の寄与率が高いアモルファス体を使用する。これにより、分割電極 3 からの正孔の注入が阻止され、暗電流を低減することができる。この場合、共通電極 9 側にも正孔の寄与率が高い中間層 2 1 を設けることで、共通電極 9 からの電子の注入も阻止することができ、さらに暗電流を低減することができる。

## 【 0 0 9 8 】

また、半導体厚膜 7 がアモルファス体で、かつ中間層 2 1 が多結晶体ある場合

には、次のような組み合わせが例示される。

【0099】

共通電極9に正バイアスを印加する場合は、分割電極3側の中間層21に正孔の寄与が大きい多結晶体を使用する。また、共通電極9に負バイアスを印加する場合は、分割電極3側の中間層21に電子の寄与が大きい多結晶体を使用する。これらの場合、共通電極9側に中間層21を設けることで、さらに暗電流を低減することができる。

【0100】

また、中間層21と半導体厚膜7がともに多結晶体である場合には、例えば、次のような組み合わせが考えられる。

【0101】

共通電極9に正バイアスを印加する場合は、分割電極3側の中間層21に正孔の寄与が大きい多結晶体を使用する。また、共通電極9側に負バイアスを印加する場合は、分割電極3側の中間層21に電子の寄与が大きい多結晶体を使用する。これらの場合も、共通電極9側に中間層21を設けることで、さらに暗電流を低減できる。

【0102】

また、中間層21の好適な材料となる多結晶体としては、 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{CdS}$ 、 $\text{CdSe}$ 、 $\text{CdTe}$ 、 $\text{CdZnTe}$ 、 $\text{ZnSe}$ 、 $\text{ZnTe}$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{PbI}_2$ 、 $\text{HgI}_2$ 、 $\text{TlBr}$ 、 $\text{GaAs}$ の化合物半導体のいずれかの多結晶体、またはFやClなどのハロゲンをドーピングした前記化合物半導体の多結晶体、またはこれらの多結晶体を組み合わせて多層にしたもののいずれかが挙げられる。

【0103】

なお、間接発光デバイスの他に、特定波長の光を直接的に照射することができる直接発光デバイスとして、発光ダイオードや、レーザダイオード(LD)やエレクトロルミネッセンス素子(EL)が利用可能である。

【0104】

この際、冷陰極管25の代わりに、上記直接発光デバイスを線状に配置して線状発光体として利用することができ、また、面状に配置して、この発明における

面状発光手段としても利用できる。さらに、これらの直接発光デバイスを、両面デバイス技術によってTFT基板5に直接的に形成してもよい。これにより光照射に係る機構の小型化・薄型化を図ることができる。

## 【0105】

また、中間層21を備えている場合、図15の模式図に示すように、半導体厚膜7と中間層21の両方に電荷が溜まる場合があるので、両方に光を照射する必要がある。そこで、半導体厚膜7の材料と中間層21の材料を選択することで、フィルター効果を生じさせて所望深さにまで光を照射させることができる。つまり、白色光の波長成分のうち、短波長成分は中間層21で吸収されて半導体厚膜7には深く到達せず、照射損傷や暗電流の増加を引き起こすことなく、大部分の光を中間層21に対して作用させることができる。また、長波長成分は中間層21を透過して半導体厚膜7に到達して作用させることができる。

## 【0106】

半導体厚膜7として、例えば、1mm厚のアモルファス・セレン(a-Se)を使用する場合、図12に示すように、透過率半減波長は740nm、バンドギャップエネルギー2.2eVに対応する波長は560nmであるので、560nm～740nmに透過限界波長がある材料を用いて中間層21を形成すればよい。なお、図12はa-SeとSb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>薄膜の透過率を示すグラフである。

## 【0107】

例えば、厚さ1μmの三硫化二アンチモン(Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)薄膜の透過限界波長は580nmであるので、アモルファス・セレンと分割電極3との間に厚さ1μmの三硫化アンチモン薄膜を形成すれば、冷陰極管25から導かれた白色光の内、580nm以下の短波長成分がカットされ、バンドギャップエネルギーよりも照射光のエネルギーは小さくなるため、照射光による半導体の損傷や、暗電流の増加がなくなる。使用する半導体厚膜7の材質によって、中間層21の材質や厚さを選択する必要があるが、照射光の波長を限定する必要がなくなって光照射に係る構成を簡素化できるという効果が得られる。換言すると、照射光源として単色光源を用いずに白色光源を用いた場合でも、照射損傷や暗電流の増加を引き起こすことなく、感度変動のない放射線検出器を得ることができる。

## 【0108】

なお、中間層21は、上述したように分割電極3の直上に設ける代わりに、共通電極9の直下に設けるようにしてもよく、さらに分割電極3の直上と共通電極9の直下の両方に設けるようにしても上述した構成と同等の効果を奏する。この際、両方の中間層21の材料は、同じである必要はない。

## 【0109】

## 『実施例』

次に、本実施形態の放射線検出器で、感度変動が抑制されることを実際に確かめるために、分割電極3を透明電極材料の代表的なものである材料ITOで構成し、電極サイズ $a = 130\ \mu\text{m}$ 、電極ピッチ $a + b = 150\ \mu\text{m}$ で形成したTFT基板5上に、厚さ $1\ \mu\text{m}$ の中間層 $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 薄膜21を形成し、その上に厚さ $1\ \text{mm}$ の $a\text{-Se}$ 半導体層7を形成した後、厚さ $0.1\ \mu\text{m}$ の共通電極Au膜9を形成した。そして、TFT基板5の裏面に緑色の面発光ダイオードを透明接着剤で取付けた試験用検出器を作製して、発光ダイオードの照射時と非照射時とで感度変動および残像現象の程度を比較した。

## 【0110】

図16に、X線管からのX線を、管電圧 $55\ \text{kV}$ 、管電流 $25\ \text{mA}$ 、距離 $1\ \text{m}$ の条件で試験用検出器に4秒間照射して停止した場合の出力変化を示す。発光ダイオード非照射時は、応答性が鈍く、出力が徐々に上昇、すなわち感度変動していくが、発光ダイオード照射時はほぼ瞬時に出力が上昇し、X線照射中は一定であることがわかる。また発光ダイオード非照射時は、X線停止後の切れが悪く、残留出力が1秒以上続いていることがわかる。

## 【0111】

次に図17に、X線管からのX線の照射量を上げ、管電圧 $55\ \text{kV}$ で管電流を $50\ \text{mA}$ から $80\ \text{mA}$ まで上げていった場合の出力変化を示す。発光ダイオード非照射時は、応答性がさらに鈍くなり、電極サイズと電極間隔から説明される値をはるかに超えて出力が変動する。また、X線停止後も奇妙な残留カーブを示し、TFTスイッチ17が誤動作していると推定される。しかし、発光ダイオード照射時は、この現象は全く起こらず、ほぼ瞬時に出力が上昇してX線照射中は一

定であり、X線停止後の残留出力もほとんどないことがわかる。

【0112】

なお、この発明は上述した実施例に限定されるものではなく、以下のように変形実施が可能である。

【0113】

(1) 上述した実施例では、光照射機構が放射線検出器の下側に取付けられているが、放射線検出器の分割電極3が上側に位置する場合には、光照射機構を放射線検出器の上側に取付けるようにしてもよい。

【0114】

(2) 本発明における光照射機構は、面発光プレートまたは冷陰極管と電源との組み合わせ、冷陰極管と蛍光体と電源との組み合わせや、これらと手動スイッチとの組み合わせ、これらと制御部との組み合わせを含むとともに、光照射を行うものであれば他の実施形態も含む。

【0115】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、放射線有感な半導体の一方の側に複数個の分割電極を形成して、入射放射線の空間分布を検出する放射線検出器において、分割電極側に光を照射する機構を有し、光を照射中に、放射線の検出動作を行うため、分割電極間のスペースの領域で発生した電荷（電子・正孔）は、光によってすでに溜まっている電荷によって曲げられた電気力線に沿って分割電極に移動するため、電気力線の状態が変化することはなく、有感面積も変化せず、感度変動は起こらない。また、放射線入射が停止したあとでも光が照射されたままであるので、分割電極間のスペースの領域に溜まった電荷が徐々に掃き出されていくことはなく、残留出力は発生しない。

【0116】

さらに、分割電極が透明もしくは半透明電極であるので、照射光は分割電極間のスペース領域だけでなく、分割電極形成領域にも照射されるため、電荷の掃き出しスピードよりも高レートの放射線が入射する場合でも、分割電極近傍に電荷が一旦溜まっても、照射光のエネルギーによってすぐにまた励起されて運動エネ

ルギーを与えられるので、電位プロファイルが歪むことはなく、分割電極近傍の電位は上昇せず、T F T が誤動作するようなことはない。

【 0 1 1 7 】

よって、感度変動や残留出力のない、非常に定量性の高い放射線検出器を得ることができる。この効果は特に放射線動画像検出器として使用する場合に顕著に現れ、徐々に輝度に変化していく現象や、前フレームの画像が残像として残るといった現象が起こらないため、医療診断分野や、非破壊検査分野の進歩に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態である放射線検出器の概略構成を示す縦断面図である。

【図 2】

本発明の放射線検出器の第 1 の作用を説明する図であり、放射線入射前の状態を示す模式図である。

【図 3】

本発明の放射線検出器の第 1 の作用を説明する図であり、放射線入射中の状態を示す模式図である。

【図 4】

本発明の放射線検出器の第 1 の作用を説明する図であり、バンドギャップに対応する波長よりも短い波長の光を照射した状態を示す模式図である。

【図 5】

本発明の放射線検出器の第 2 の作用を説明する図である。

【図 6】

検出動作中における光照射の制御例を示すタイミングチャートである。

【図 7】

検出動作中における光照射の制御例を示すタイミングチャートである。

【図 8】

検出動作中における光照射の制御例を示すタイミングチャートである。

【図 9】

本発明の一実施形態の変形実施例であるX線検出器の概略構成を示す縦断面図である。

【図10】

半導体厚膜よりも中間層の方が欠陥が多くて電荷が溜まりやすい場合の説明に供する図である。

【図11】

導光板の構成例を示す一部拡大縦断面図である。

【図12】

a-Seと $Sb_2S_3$ 薄膜の透過率を示すグラフである。

【図13】

種々の波長の光を照射した場合における応答特性の立ち上がり部分を拡大したグラフである。

【図14】

種々の波長の光を照射した場合における応答特性の立ち下がり部分を拡大したグラフである。

【図15】

半導体厚膜と中間層の両方に電荷が溜まる場合の説明に供する図である。

【図16】

実施例に係る試験用のX線検出器の特性を比較するグラフである。

【図17】

実施例に係る試験用のX線検出器の特性を比較するグラフである。

【図18】

従来例に係る放射線検出器の第1の課題を説明する模式図であり、(a)は放射線入射前、(b)は放射線入射中を示す。

【図19】

従来例に係る放射線検出器の第2の課題を説明する模式図であり、(a)は放射線入射前、(b)は放射線入射中を示す。

【符号の説明】

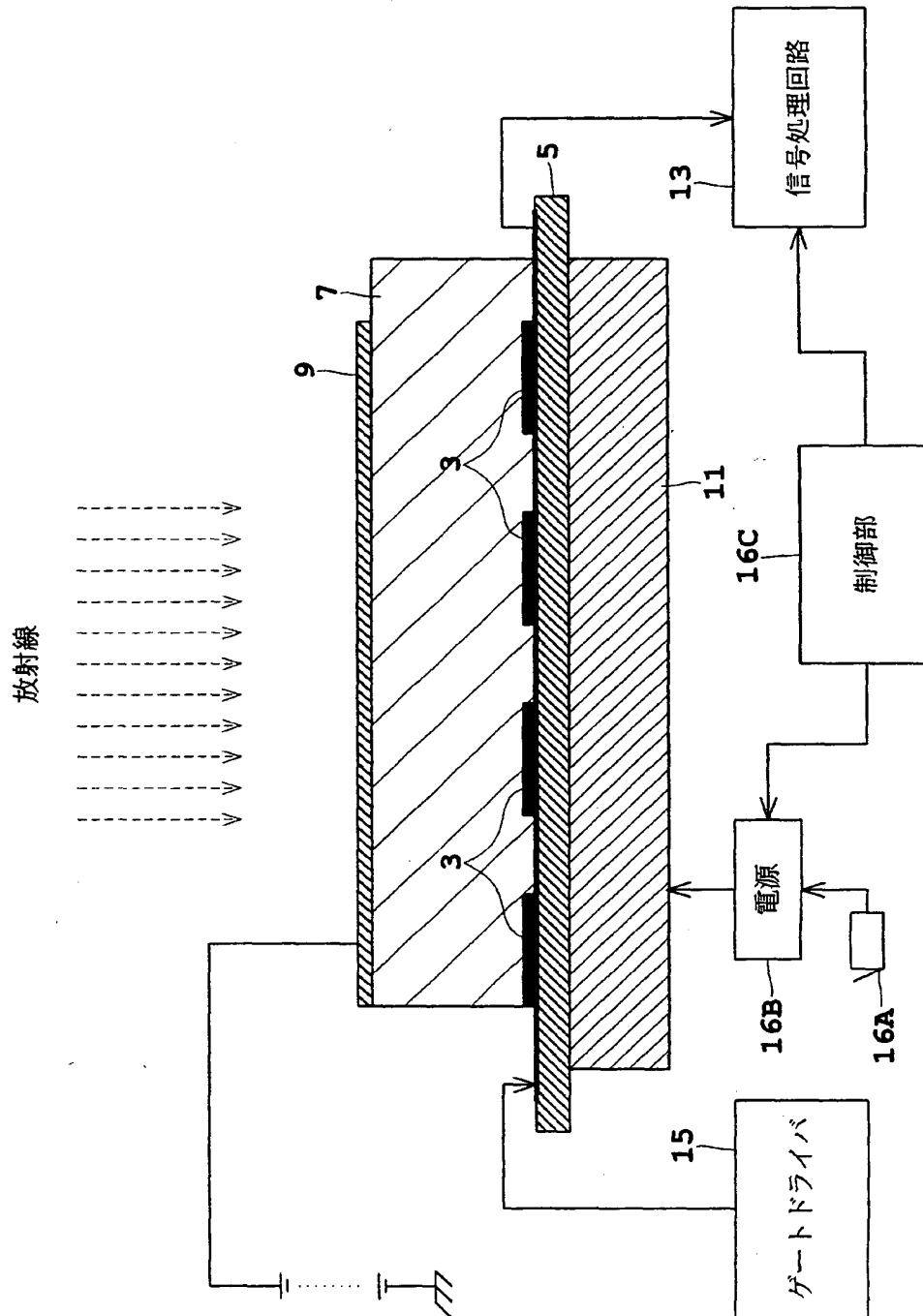
3 … 分割電極

- 5 ... T F T 基板
- 7 ... 半導体厚膜
- 9 ... 共通電極
- 1 1 ... 面発光プレート（光照射機構）
- 1 3 ... 信号処理回路
- 1 5 ... ゲートドライバ
- 1 7 ... T F T スイッチ
- 1 9 ... 電荷蓄積コンデンサ
- 2 1 ... 中間層
- 2 3 ... 導光板
- 2 5 ... 冷陰極管

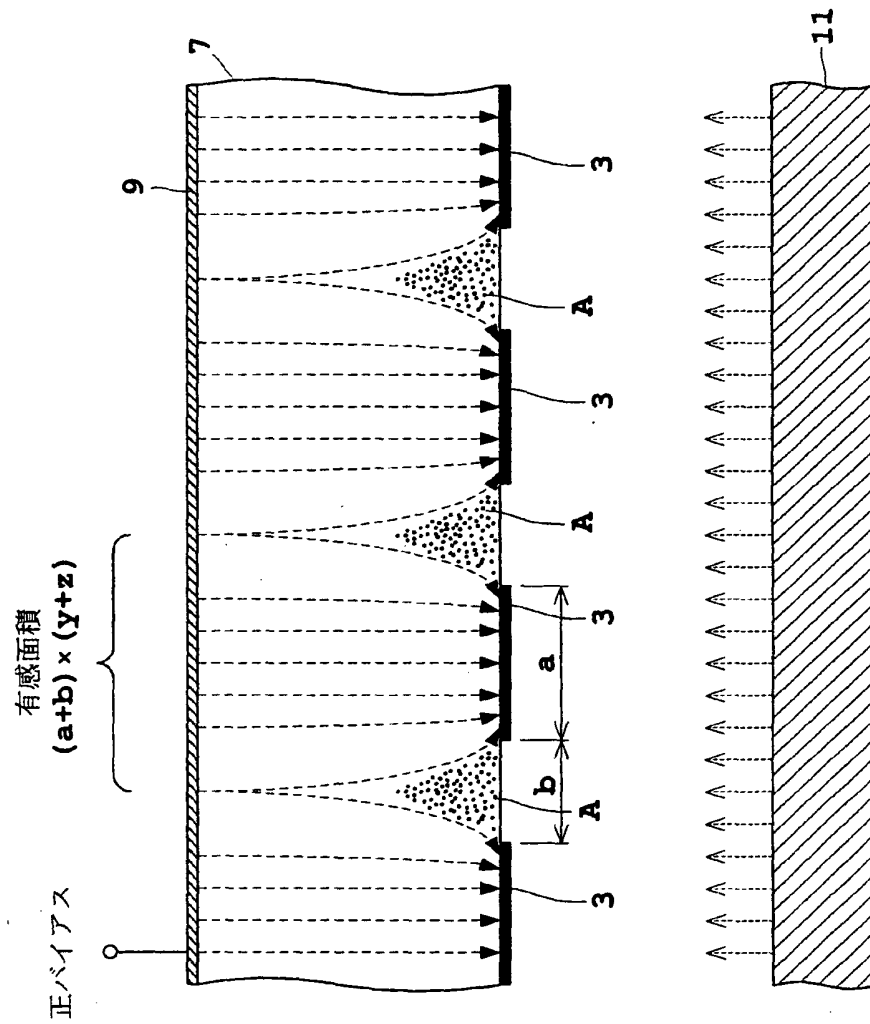
【書類名】

図面

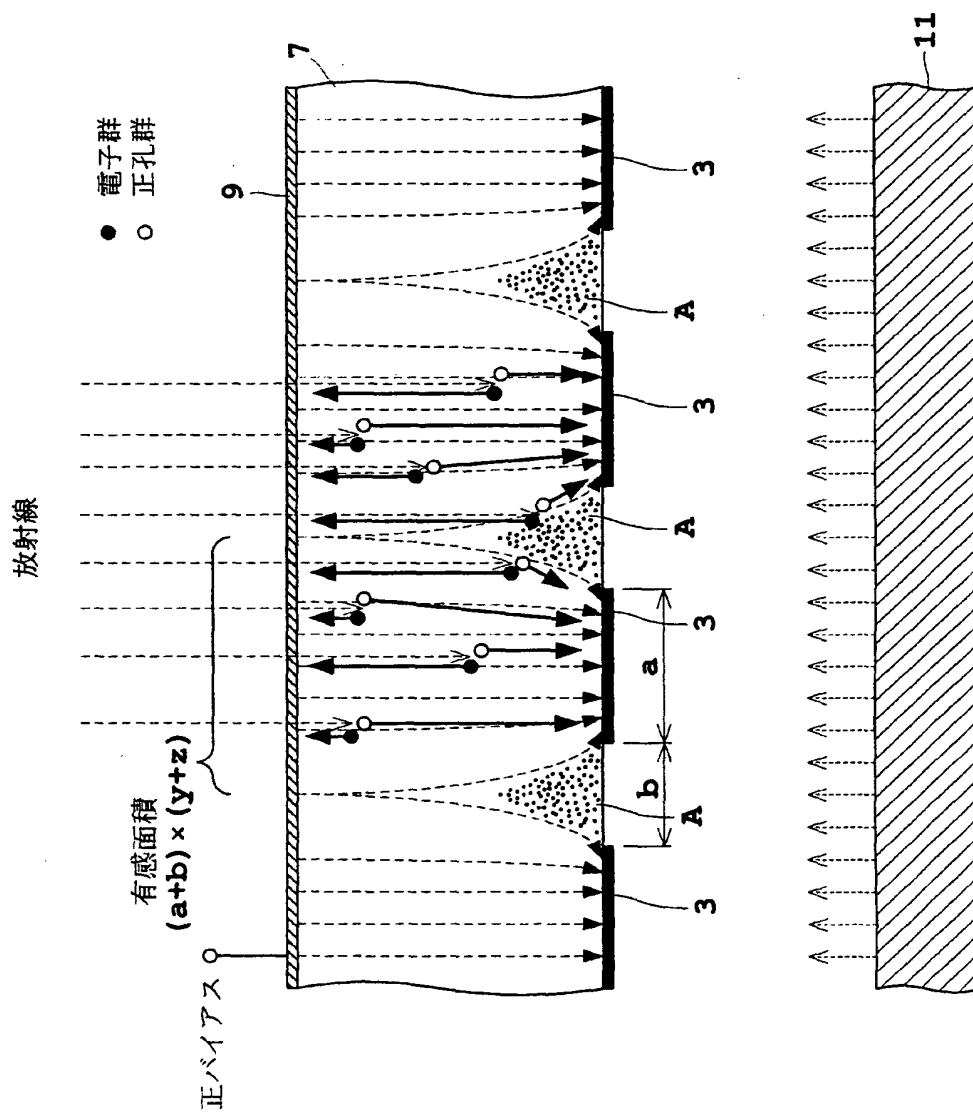
【図 1】



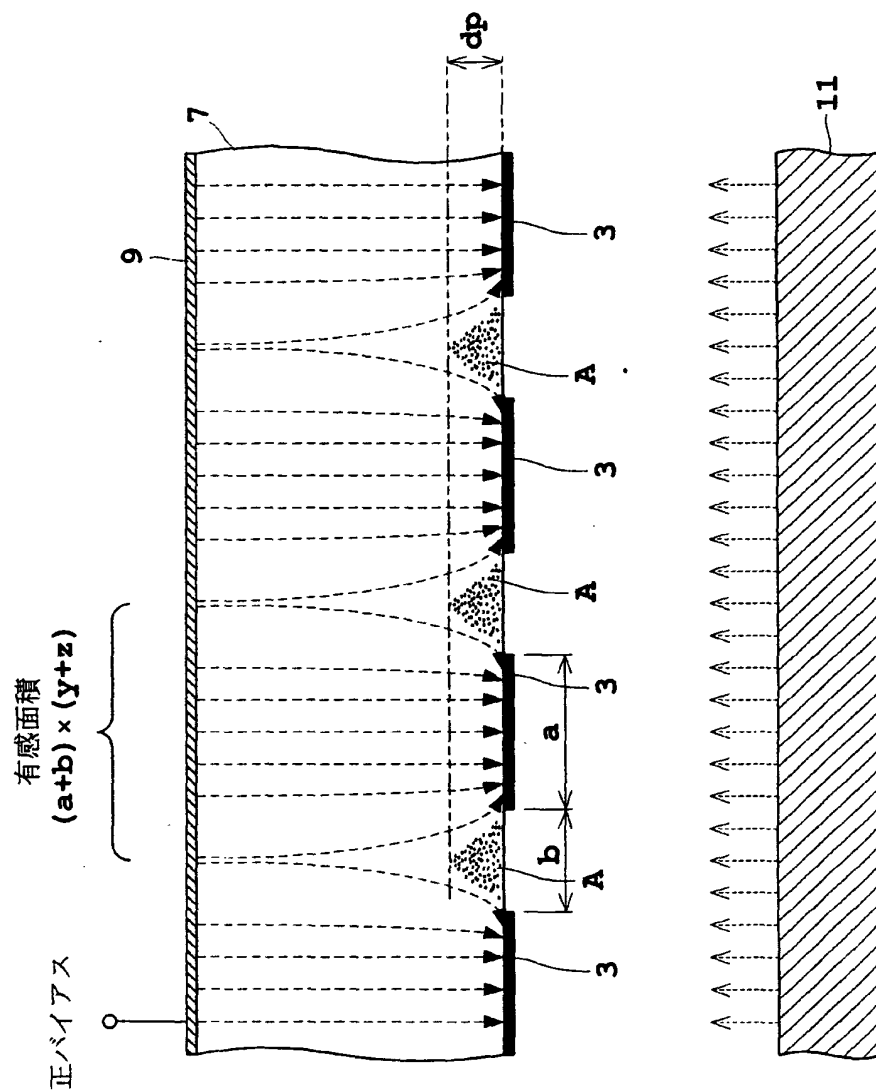
【図2】



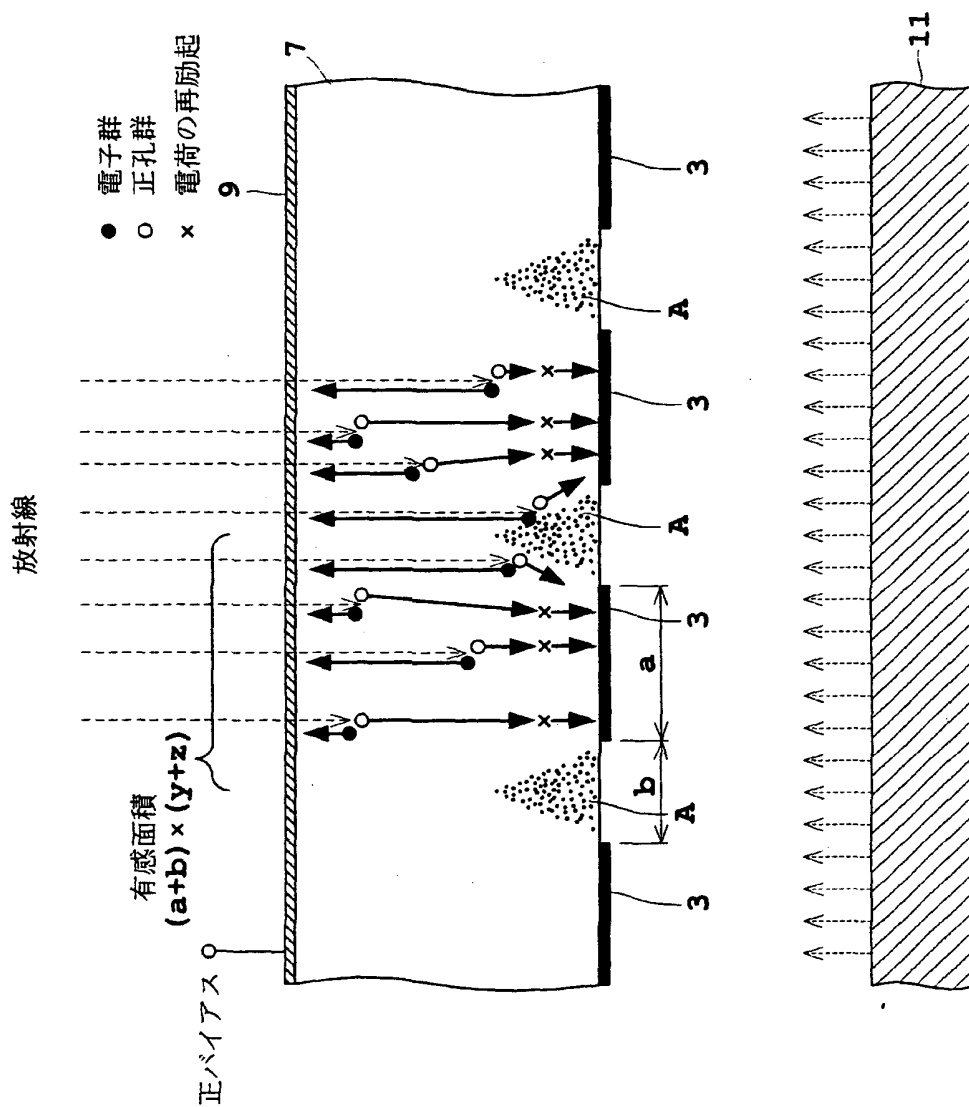
【図 3】



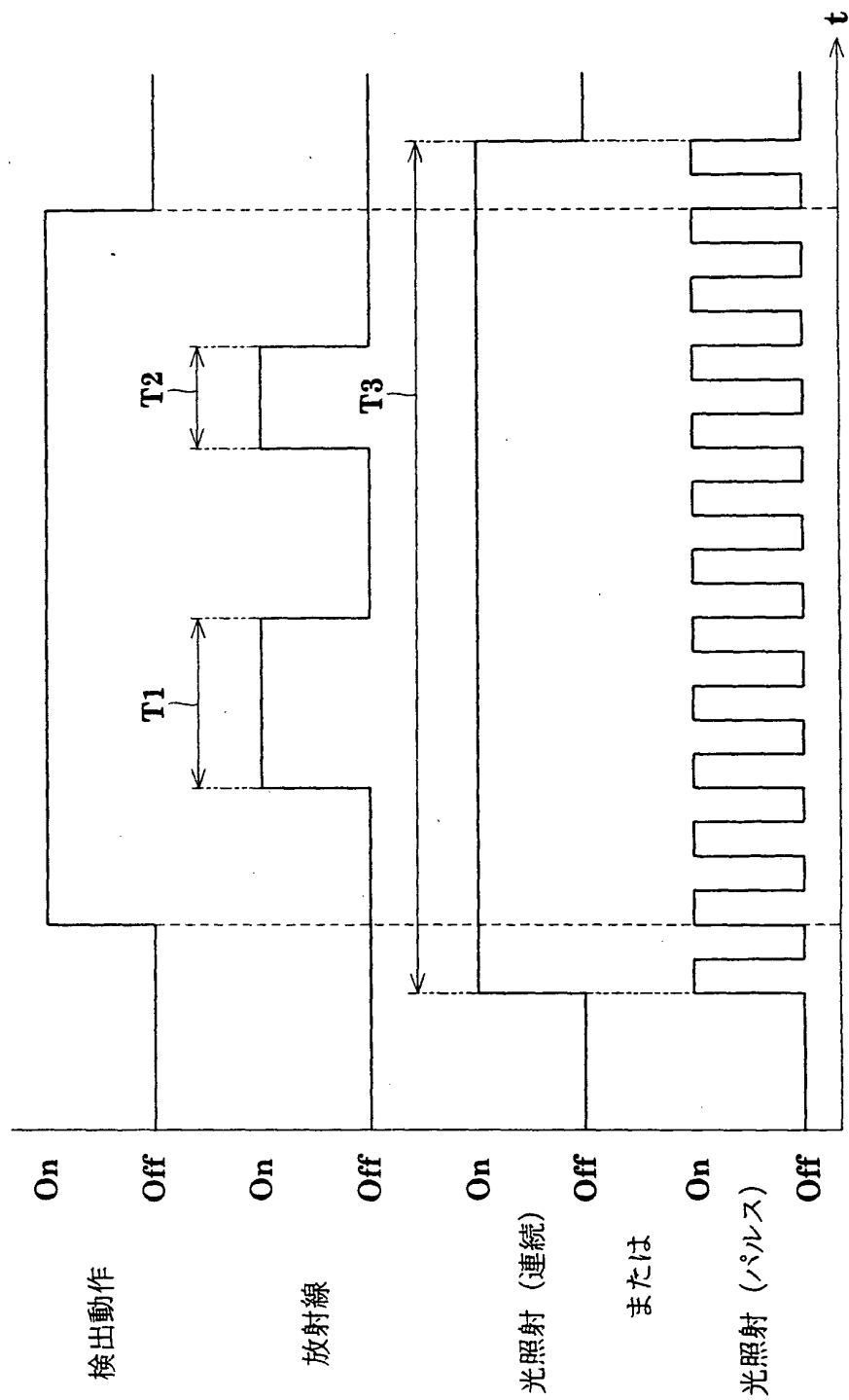
【図4】



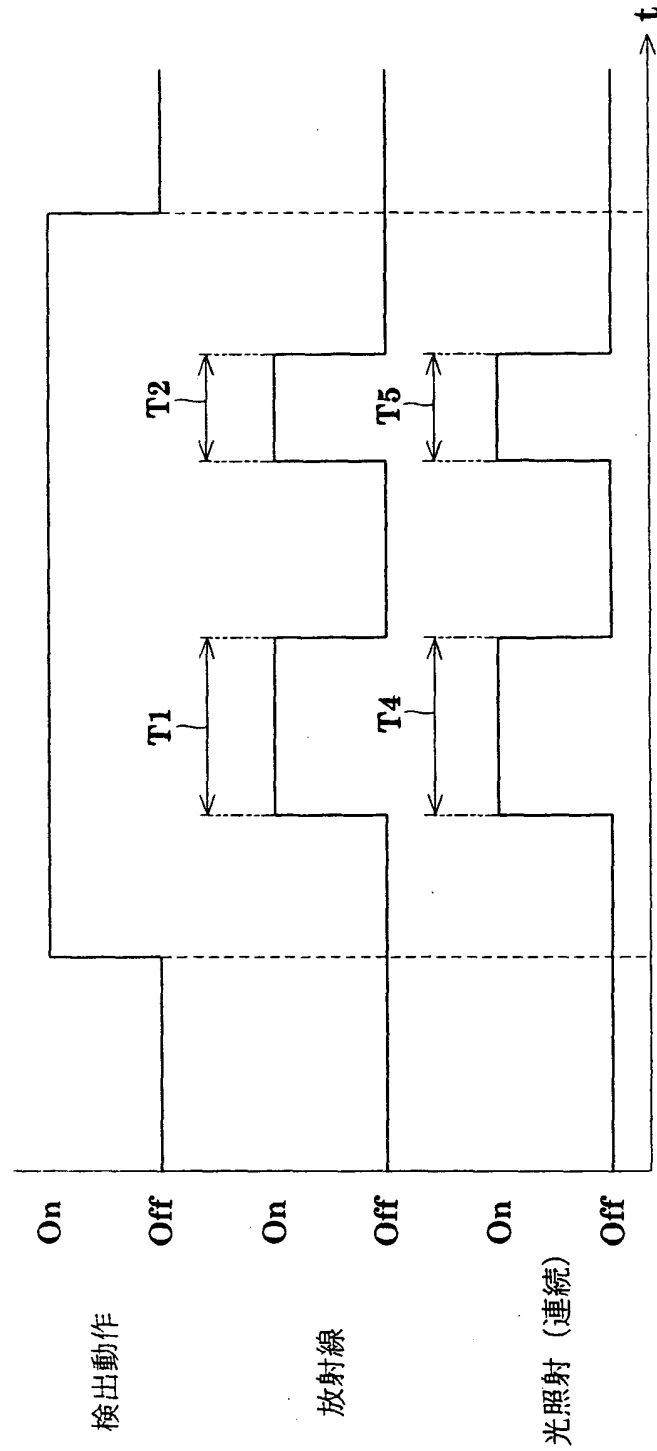
【図 5】



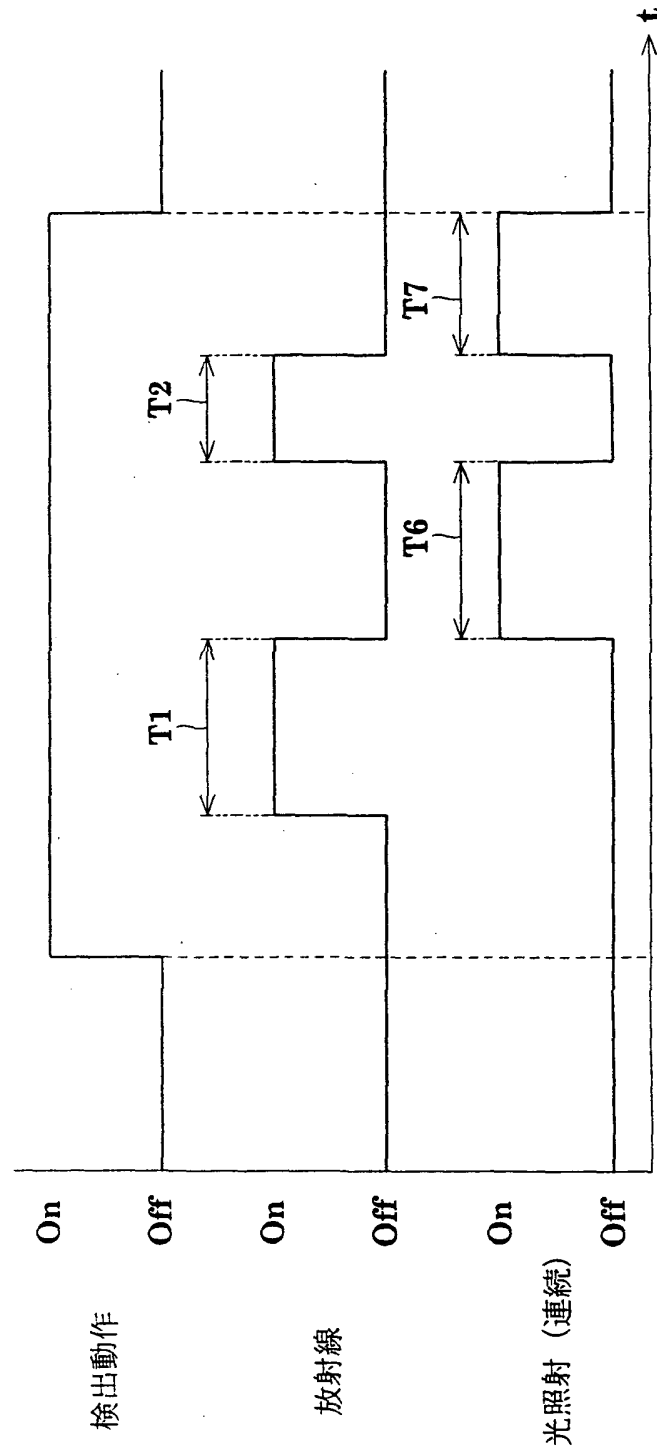
【図 6】



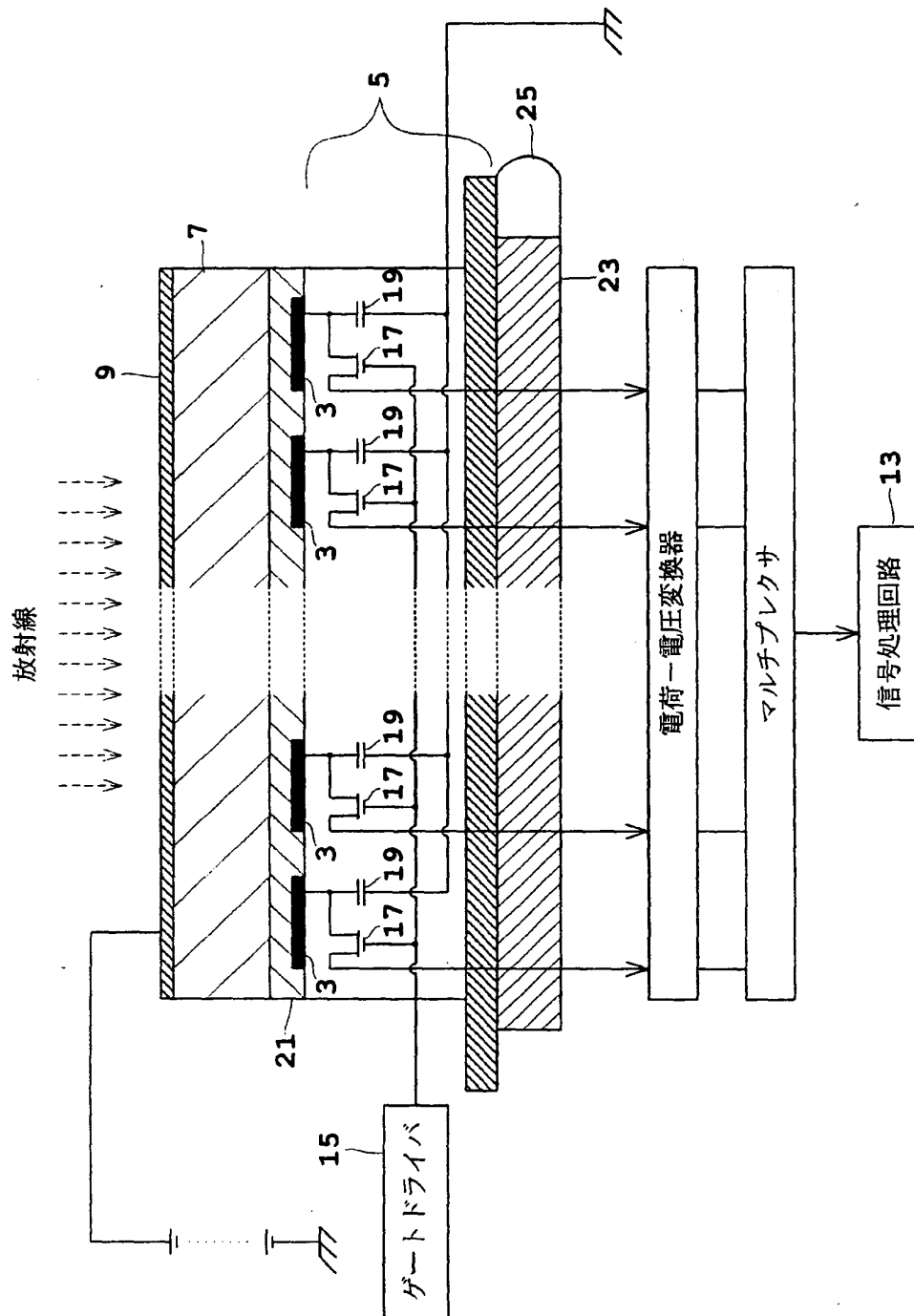
【図 7】



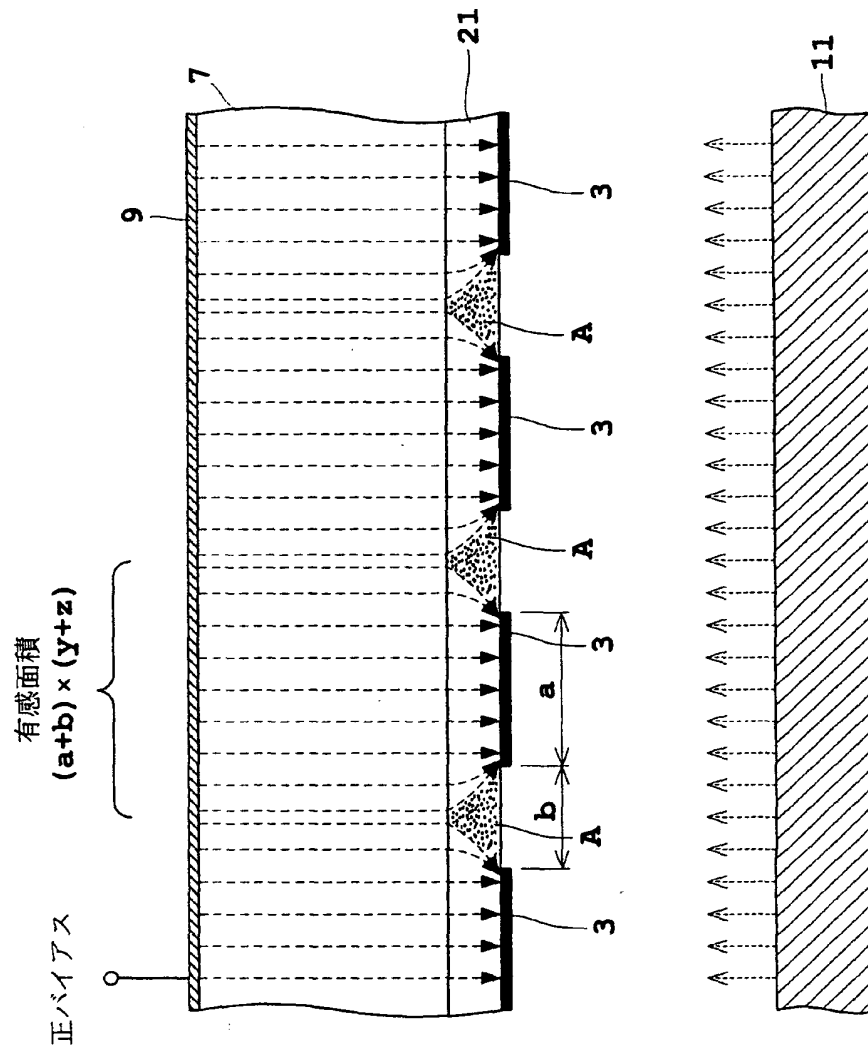
【図 8】



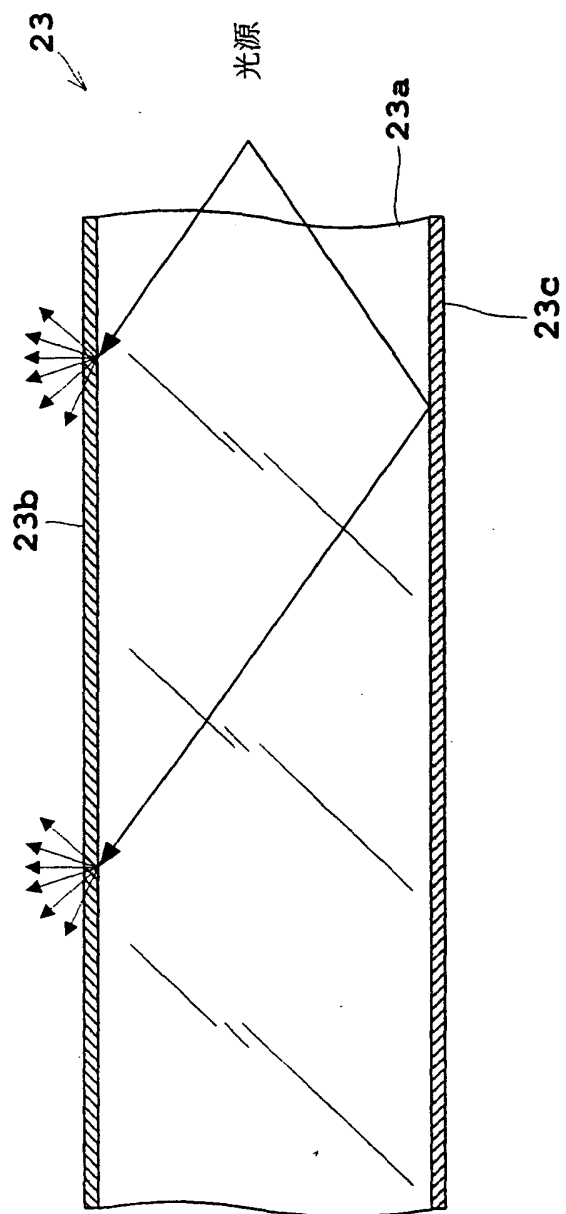
【图9】



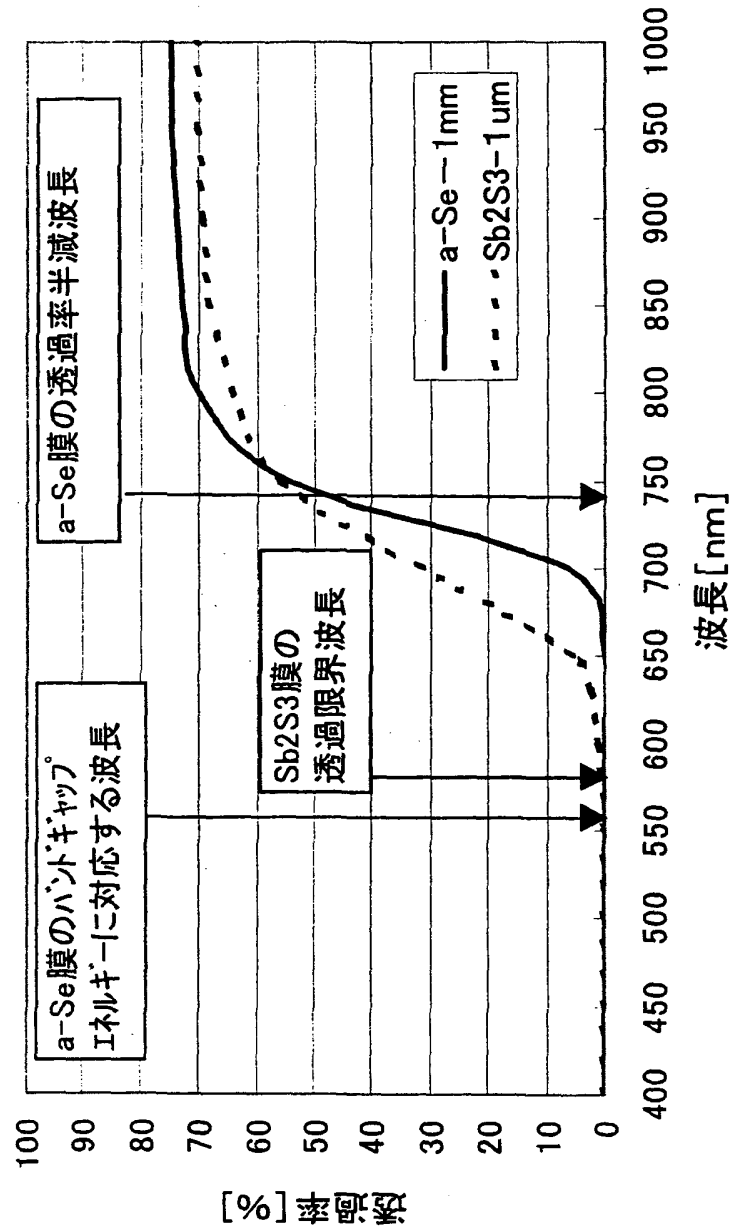
【図10】



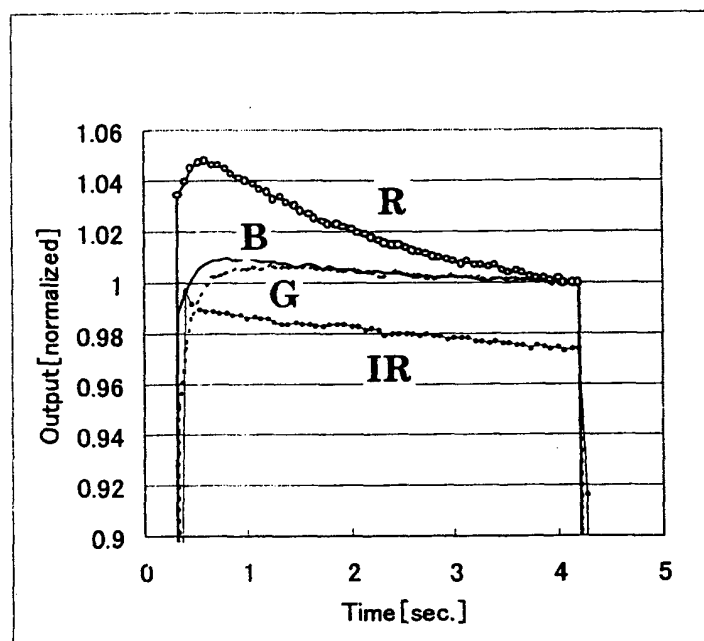
【図 11】



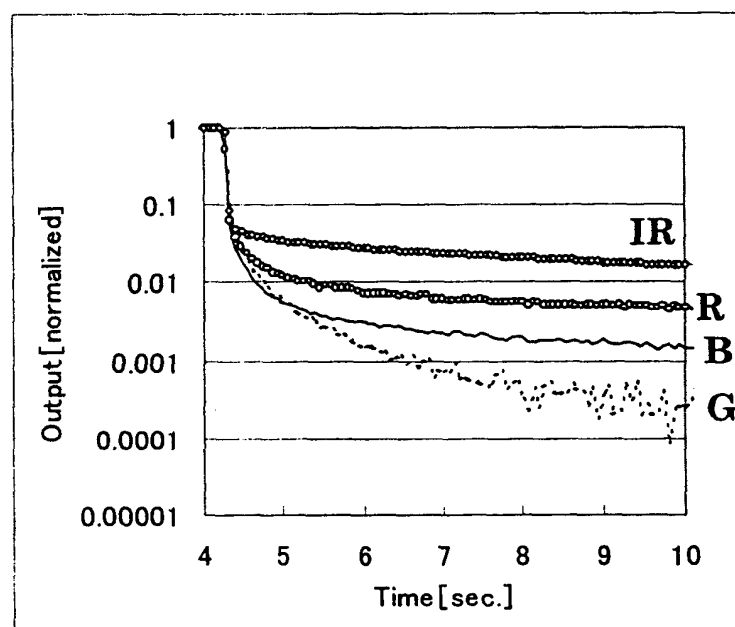
【図 12】



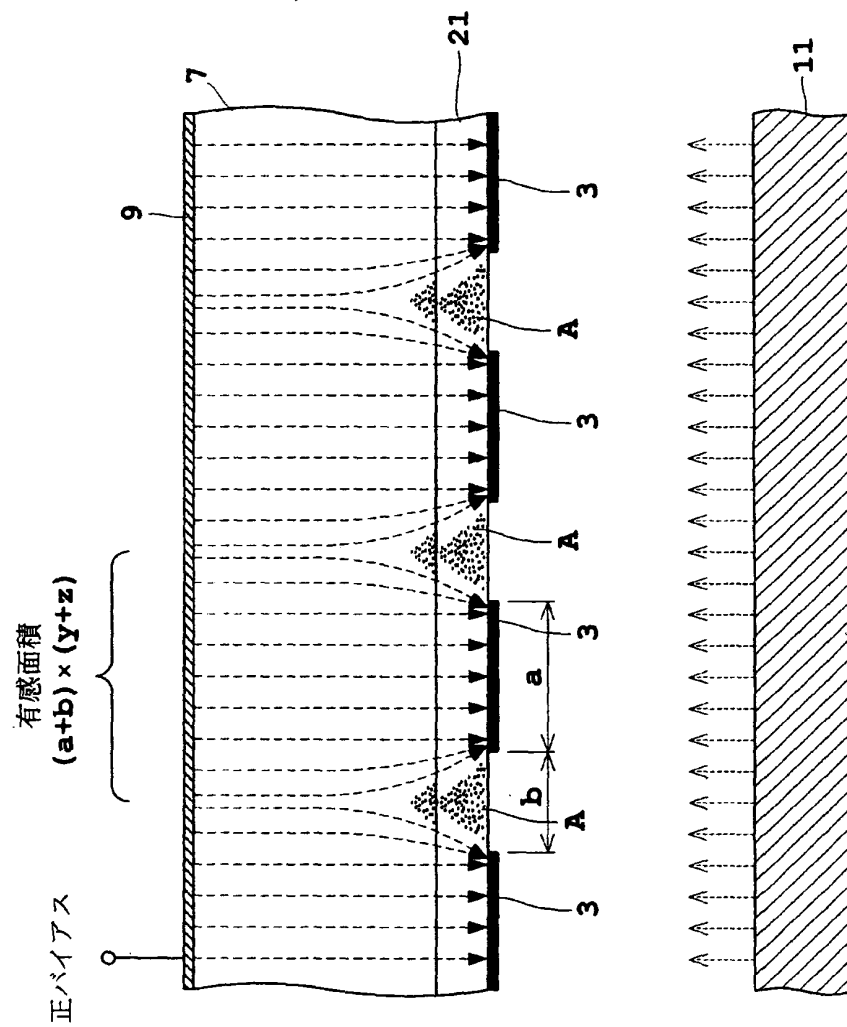
【図13】



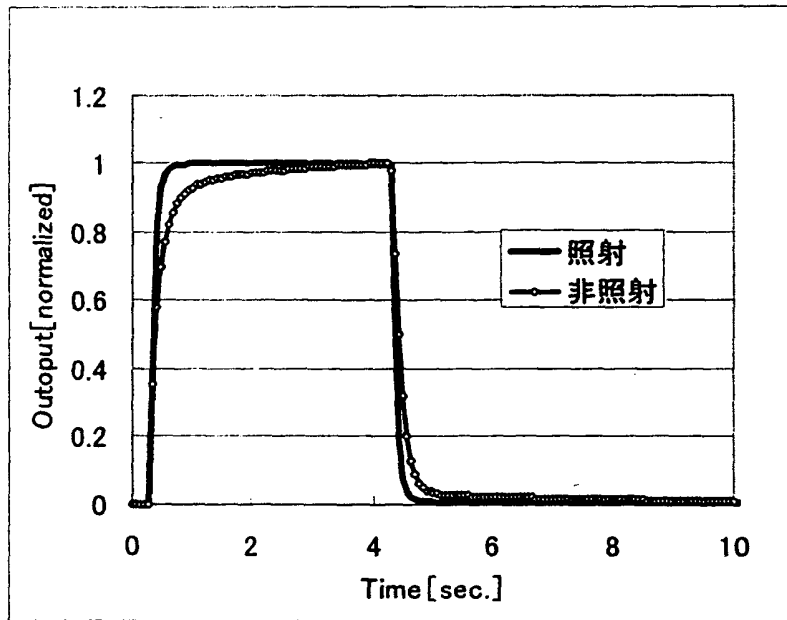
【図14】



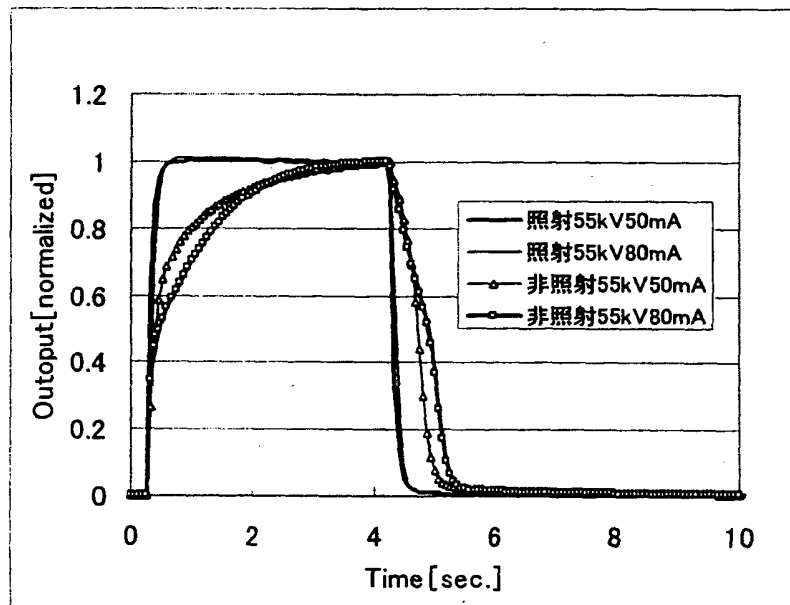
【図 15】



【図 16】

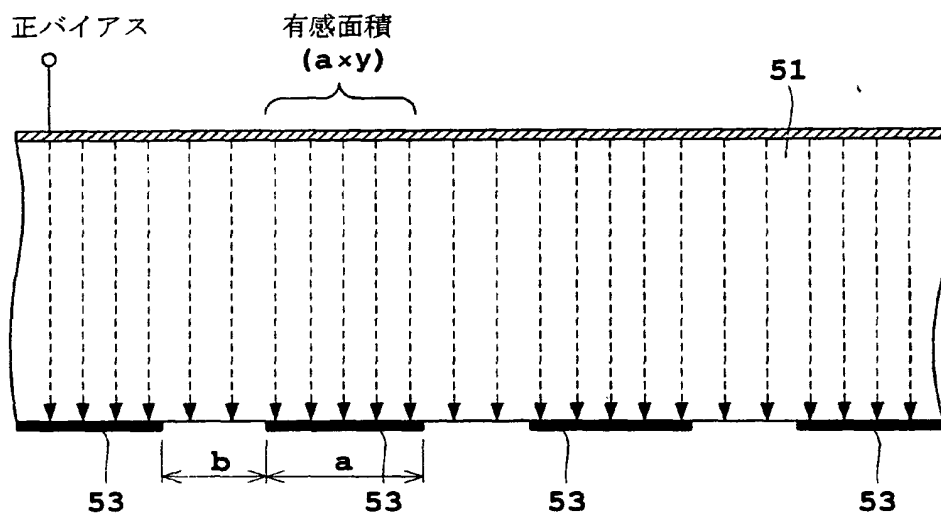


【図 17】

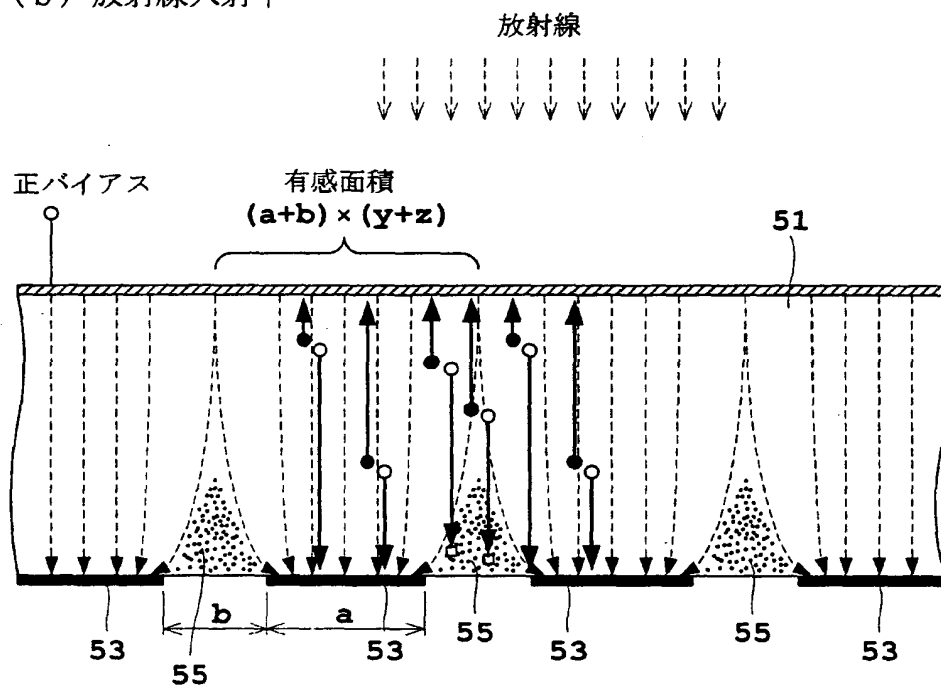


【図18】

(a) 放射線入射前

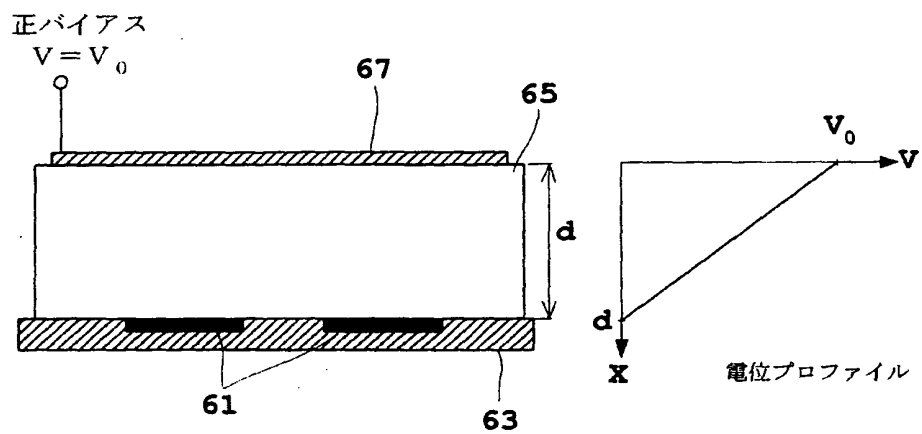


(b) 放射線入射中

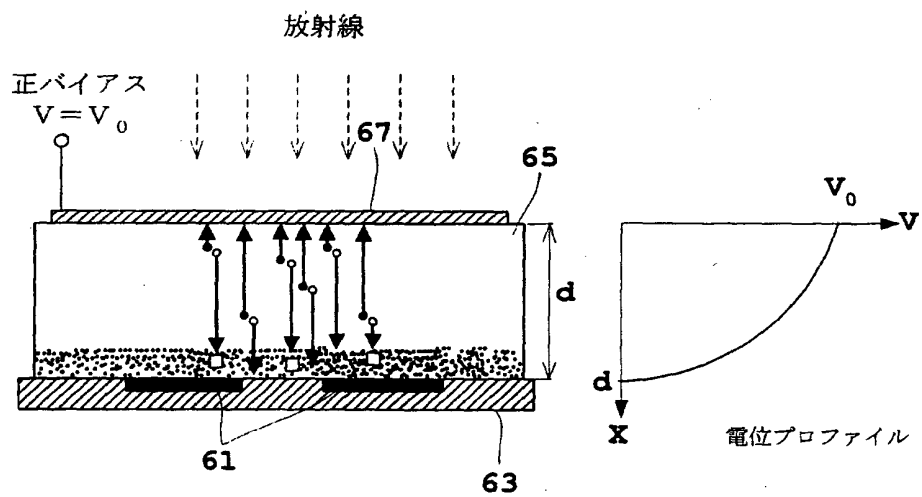


【図19】

(a) 放射線入射前



(b) 放射線入射中



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    光照射によって分割電極を備えた放射線検出器に発生する電界を安定化させることにより、感度変動のない放射線検出器を提供する。

【解決手段】    面発光プレート 1 1 から光を照射することにより、放射線入射前の状態でも、光によって発生した電荷のうち一方が分割電極 3 間のスペースの領域にすでに溜まっている（符号 A で示す）。したがって、半導体厚膜 7 中に点線矢印で示すように電気力線が歪み、有感面積は最初から  $(a + b) \times (y + z)$  となる。移動する電荷は、電気力線に沿って分割電極 3 に到達し、分割電極 3 間のスペースにさらに電荷が溜まることがないので、電気力線の状態も有感面積も変化せず感度変動は起こらない。

【選択図】            図 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001993]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

氏 名 株式会社島津製作所